

CAROLINA
BORGES LOBO

**Estudo da validade concorrente da
plataforma *BITalino R-IoT* na
avaliação das amplitudes de
movimento ativas da coluna cervical
em indivíduos assintomáticos**

Dissertação de Mestrado em Fisioterapia – Ramo
das Condições Músculo-Esqueléticas

Relatório de Projeto de Investigação

PROFESSORA DOUTORA RITA FERNANDES
PROFESSOR LUÍS GOMES

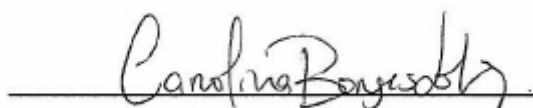
Novembro 2018

Relatório do Projeto de Investigação apresentado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Fisioterapia, área de especialização em Fisioterapia em Condições Músculo-Esqueléticas realizada sob a orientação científica de Professora Doutora Rita Fernandes e do Professor Luís Gomes.

DECLARAÇÕES

Declaro que este Relatório de Projeto de Investigação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

A Candidata

A handwritten signature in black ink, reading "Carolina Borges Lobo", written over a horizontal line.

Carolina Borges Lobo

Setúbal, 20 de novembro de 2018

Declaro que este Relatório de Projeto de Investigação se encontra em condições de ser apresentado a provas públicas.

O/A orientador(a)

A handwritten signature in black ink, reading "Rita Fernandes", written over a horizontal line.

Professora Doutora Rita Fernandes

Setúbal, 20 de novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora *Rita Fernandes* e ao Professor *Luís Gomes* pelo desafio proposto e pela partilha de conhecimentos.

Ao Professor *Hugo Silva*, pelo apoio na realização deste projeto e pela disponibilidade em ajudar, resolver problemas e partilhar conhecimentos.

Aos meus *pais*, pelo apoio incondicional e pelo incentivo constante à busca de conhecimento e de desenvolvimento profissional e pessoal.

À minha *irmã*, um dos grandes pilares da minha vida, que me impulsionou para a realização deste mestrado.

Ao *Simão*, pelo apoio a todos os níveis, pela paciência, pela energia inesgotável, e por me fazer acreditar que é possível, mesmo quando parece impossível.

À *Raquel*, pela partilha de longas horas no laboratório, pela boa disposição e pelo espírito de interajuda.

Aos meus *amigos*, o meu obrigada pelos momentos de descontração e de diversão que me proporcionaram, nesta etapa mais dura.

A *todos os participantes* deste estudo, um agradecimento muito especial pela disponibilidade e pela paciência, sem os quais não teria sido possível a concretização deste projeto.

Ao Simão,

Por ser o maior exemplo de determinação e de ambição que conheço.

RESUMO

Estudo da validade concorrente da plataforma *BITalino R-IoT* na avaliação das amplitudes de movimento ativas da coluna cervical em indivíduos assintomáticos

Carolina Lobo; Luís Gomes; Rita Fernandes

INTRODUÇÃO: A análise cinemática constitui um dos principais recursos para o estudo do movimento humano, da qual fazem parte as variáveis de deslocamento, velocidade e aceleração. Atualmente, os sistemas magnéticos e inerciais têm vindo a ganhar preferência para o estudo cinemático, por serem pequenos, portáteis e sem fios, o que facilita a monitorização do movimento. Dentro destes sistemas foi desenvolvida, recentemente, uma plataforma - *BITalino R-IoT* - que se apresenta como um potencial instrumento de medida para a avaliação dos movimentos ativos da cervical, no entanto, as suas propriedades psicométricas ainda não foram estudadas. **OBJETIVO:** Avaliar a validade concorrente da plataforma *BITalino R-IoT* na medição das amplitudes de movimento ativas da coluna cervical em indivíduos assintomáticos em comparação com o Sistema *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.* **METODOLOGIA:** Foi realizado um estudo metodológico para avaliar a validade concorrente do sistema *BITalino R-IoT*, tendo por referência um sistema optoelectrónico - *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.* Este estudo contou com a participação de 22 indivíduos adultos e assintomáticos. A cada participante, foi solicitada a realização dos 6 movimentos da cervical (flexão, extensão, flexão lateral esquerda e direita, rotação esquerda e direita), tendo sido recolhidos dados pelos dois instrumentos, simultaneamente. Para a análise dos dados foi calculada a média das ADM, respetivos 95%IC, DP, valores mínimos e máximos dos ângulos e das ADM. Foi também calculada a variabilidade dos ângulos mínimos e máximos através da média e respetivos DP, bem como o erro padrão. Para a variável ADM foi calculada a diferença das médias e respetivos 95%IC. Por fim, foram efetuadas as correlações de *Spearman* entre as médias das ADM dos dois instrumentos. **RESULTADOS:** Relativamente à comparação entre os dois instrumentos, para os movimentos de flexão/extensão, flexão lateral direita e rotação direita a correlação entre os dois instrumentos foi considerada “forte” ($0.70 < r_s < 0.90$) e para as ADM dos movimentos de flexão lateral esquerda e rotação esquerda a correlação foi considerada “muito forte” ($r_s > 0.90$). No entanto a diferença entre as médias das ADM dos dois sistemas revelou ser bastante discrepante, especialmente para os movimentos de rotação esquerda (DM=44.64°; DP=2,70°; 95% IC 39.34 a 49.94° e direita (DM=41.70°; DP= 3.09°; 95% IC 35.64 a 47.76°). **DISCUSSÃO e CONCLUSÃO:** O sistema *BITalino R-IoT* demonstrou ser um instrumento válido para medição de todas as ADM da coluna cervical, contudo a diferença das médias entre as ADM dos dois instrumentos relevou ser bastante acentuada, sendo que os valores das médias das ADM do *BITalino R-IoT* não correspondem aos valores de ADM esperados para a idade da amostra em estudo. Desta forma, sugere-se uma investigação mais aprofundada acerca deste instrumento para que seja conhecida a possível fonte de erro contribuinte para estas diferenças.

PALAVRAS-CHAVE: Cinemática; *BITalino R-IoT*; validade concorrente; *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.*

ABSTRACT

Concurrent validity of *BITalino R-IoT* in the evaluation of active cervical range of motion in asymptomatic individuals.

Carolina Lobo; Luís Gomes; Rita Fernandes

INTRODUCTION: The kinematic analysis is one of the main resources for the study of the human motion, of which the displacement, speed and acceleration variables. Currently, the inertial and magnetic systems have been gaining preference regarding the kinematic study, due to the fact of being small, portable and wireless, making the monitoring of motion easier. Within these systems a new platform has been recently developed – *BITalino R-IoT* – which presents itself as a potential measuring tool for cervical active range of motion, however, its psychometric properties are yet to be studied. **AIM:** Evaluate the concurrent validity of *BITalino R-IoT* in measuring active cervical range of motion in asymptomatic individuals compared to an optoelectronic system – *Optitrack Flex 3 Naturalpoint, Inc.* **METHODOLOGY:** A methodological study was performed to evaluate the concurrent validity of *BITalino R-IoT* with the optoelectronic system – *Optitrack Flex 3 Naturalpoint, Inc.*, as reference. This study had the participation of 22 adult and asymptomatic individuals. Each participant was requested to perform 6 cervical movements (flexion, extension, left and right lateral flexion, left and right rotation), with data gathered by the two instruments (*Optitrack* and *BITalino R-IoT*) simultaneously. For data analysis, the ROM mean, respective 95%CI, minimum and maximum values of the angles and ROM were calculated. The variability of minimum and maximum angles was also calculated through the mean and respective SD, as well as the SE. For the ROM variable, the difference of the means and respective 95% CI were calculated. Finally, the *Spearman* correlations were made between the ROM means of both tools. **RESULTS:** Regarding the correlation of both instruments, for the flexion/extension, right lateral flexion and right rotation movements the correlation was considered “strong” ($0.70 < r_s < 0.90$) and for the ROM of left lateral flexion and left rotation the correlation was considered “very strong” ($r_s > 0.90$). However, the difference between the average values of the ROM of the two systems turned out to be very discrepant, particularly for the left (MD=44.64°; SD=2.70°; 95% CI 39.34° a 49.94°) and right rotation (MD=41.70°; SD=3.09°; 95%CI 35.64° a 47.76°). **DISCUSSION AND CONCLUSION:** The *BITalino R-IoT* system is a valid instrument when it comes to the measurement of every ROM of the cervical spine. However, the difference between the mean values of the ROM of both instruments turned out to be quite large, being that the average ROM values of *BITalino R-IoT* do not match the expected values for the age of the individuals involved in the study.

KEYWORDS: Kinematics; *BITalino R-IoT*; concurrent validity; *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.*

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1. Instrumentos de medida.....	3
1.2. Propriedades psicométricas dos instrumentos de medida	7
1.3. Estudos de validade sobre os instrumentos de avaliação do movimento da coluna cervical	9
2. Metodologia	15
2.1. Instrumentos	17
3. Procedimentos.....	20
4. Processamentos dos Dados	24
5. Análise dos Dados	25
6. Apresentação dos Resultados	27
6.1. Caracterização da Amostra.....	27
6.2. Validade das Variáveis Cinemáticas	32
7. Discussão dos Resultados.....	37
8. Contribuição e Limitações do Estudo.....	42
9. Conclusão.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

ADM	Amplitude de movimento
AMASS	<i>ADTech Motion Analysis Software System</i>
ATM	Artefactos dos tecidos moles
CCI	Coeficiente de correlação Intra-classe
COSMIN	<i>Consensus – Based Standards for the Selection of Health Measurements Instruments</i>
CROM	Cervical range of motion
C7	Sétima vértebra cervical
DM	Diferença das médias
DP	Desvio padrão
ESS/ IPS	Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal
EP	Erro padrão
END	Escala numérica da dor
EVA	Escala Visual Analógica
IC	Intervalo de confiança
IMC	Índice de massa corporal
ISB	<i>International Society of Biomechanics</i>
L1	Primeira vértebra lombar
L2	Segunda vértebra lombar
M	Média
<i>r</i>	Coeficiente de Correlação de <i>Pearson</i>
<i>r_s</i>	Coeficiente de Correlação de <i>Spearman</i>
SCL	Sistema de coordenadas local
T1	Primeira vértebra torácica

1. Introdução

A avaliação do movimento humano ocupa um dos pilares centrais na prática da fisioterapia. Para isso, é fundamental que o fisioterapeuta conheça o normal funcionamento e interação de todos os sistemas que constituem o ser humano e que garantem a máxima funcionalidade, bem como a forma como estes sistemas se apresentam na presença de uma disfunção (Matias e Gamboa, 2005).

O movimento humano tem sido amplamente estudado por diferentes disciplinas/profissões. A fim de aprofundar o conhecimento nesta área, têm sido utilizados diferentes recursos, sendo um deles a análise cinemática. Esta análise consiste no estudo dos corpos em movimento, independentemente das forças responsáveis por esse movimento. Descreve e quantifica as posições lineares e angulares dos corpos, compreendendo três variáveis diferentes, sendo elas o deslocamento (que fornece informação acerca das amplitudes de movimento), a velocidade e a aceleração (Robertson & Caldwell, 2014). Dentro destas diferentes variáveis, uma das que mais tem vindo a ser estudada ao longo do tempo é a amplitude de movimento (ADM).

A avaliação das ADM da coluna cervical consiste numa prática de rotina adotada pelos fisioterapeutas, maioritariamente, em utentes com dor cervical para determinar limitações no movimento, definir diagnósticos, identificar a amplitude de movimento em que o utente reporta os sintomas (Law & Chiu, 2013), estabelecer um plano de tratamento, monitorizar o progresso do utente e fornecer *feedback* acerca da efetividade das intervenções (Tousignant, Duclos, Laflèche, Mayer, Tousignant – Laflamme, Brosseau & O’Sullivan, 2002). Esta avaliação resulta na determinação dos ângulos máximos que um indivíduo consegue realizar em três diferentes planos de movimento, o plano frontal (flexão lateral esquerda e direita), o plano sagital (flexão e extensão) e o plano horizontal (rotação para a esquerda e direita) (Hachadorian, Lugo, Lian, Khoa & Van Toi, 2010).

As ADM da cervical podem ser afetadas por diversos motivos, tais como dor, disfunção, fatores biomecânicos, idade, episódios traumáticos (como síndrome

de *whiplash*) e patologias reumatológicas. Normalmente, a dor é o principal fator limitativo das ADM normais desta região (Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi 2000).

A dor cervical faz parte dos principais problemas de saúde dos países industrializados, sendo responsável por elevados níveis de incapacidade funcional, absentismo laboral e elevados custos económicos (Bahat, Sprecher, Sela & Treleaven, 2016). Afeta entre 30 a 50% da população em geral, sendo que, anualmente, 11 a 14% da população portuguesa economicamente ativa experimenta alguma limitação devido a dor cervical (APED, 2011). A diminuição das ADM em utentes com dor cervical é uma das limitações que se encontra com maior frequência (Bahat, Igbariya, Quek & Treleaven, 2016) e um dos principais motivos pelos quais os utentes recorrem à fisioterapia (Audette, Dumas, Côté & De Serres, 2010)

Numa revisão sistemática com meta-análise, de Stennenberg, Rood, de Bie, Schmitt, Cattrysse & Scholten-Peeters (2016), que incluiu 27 estudos, com um total de 2366 participantes e que compara as diferenças ao nível da mobilidade ativa entre indivíduos com dor cervical e assintomáticos, chegou-se à conclusão que os indivíduos com dor cervical apresentam uma ADM ativa menor nos ciclos completos de flexão-extensão (DM=- 28.51°, 95% IC, -40.92° a -16.11°) (informação retirada de 5 estudos), de rotação (DM=-24.49°; 95% IC, -39.81° a -19.16°) (informação retirada de 6 estudos) e de flexão lateral (DM= -16.72°; 95% IC, -23.99° a -9.45°) (informação retirada de 4 estudos).

Para além das ADM existem outras variáveis que podem ser afetadas, como a velocidade e o controlo do movimento em indivíduos com dor cervical (Sjolander et al., 2008, Roijezon et al., 2010 & Sarig Bahat et al., 2010 citados por Bahat, Weiss, Sprecher, Krasovsky & Laufer, 2013). Estas características dinâmicas, como os movimentos rápidos e precisos, são muito importantes na medida em que a sua presença é necessária para responder a estímulos ambientais do quotidiano de forma reflexa, tendo, por isso, um importante papel a nível funcional (Pereira et al., 2008; Roijezon et al., 2010 citados por Bahat, Weiss, Sprecher, Krasovsky & Laufer, 2013).

1.1. Instrumentos de medida

Ao longo dos anos, têm vindo a ser desenvolvidos instrumentos cada vez mais sofisticados para avaliar as diferentes variáveis cinemáticas. Atualmente, existem instrumentos com diferentes capacidades para avaliar o movimento. Por um lado, existem uns mais simples, preferencialmente utilizados na prática clínica, como os goniómetros e os inclinómetros, que apenas medem as ADM. Por outro lado, existem outros mais sofisticados e com tecnologia mais avançada, normalmente mais utilizados para fins de investigação como os sistemas optoelectrónicos e os sistemas magnéticos e inerciais, tendo estes últimos a capacidade para avaliar não só as ADM, como também a velocidade e a aceleração. Estes e outros instrumentos serão abordados nos parágrafos seguintes por ordem cronológica do seu aparecimento, onde serão também descritas as vantagens e as desvantagens da utilização de cada um.

Na década de 50, a radiografia era considerada o instrumento mais preciso para medir as amplitudes de movimento da coluna cervical. As ADM eram avaliadas através de médias de cineradiografia ou através de sequências de Raios X laterais, usualmente utilizados para avaliar a flexão e a extensão da coluna cervical (Antonaci, Ghirmani, Bono & Nappi, 2000). Este sistema apresentava uma boa relação entre a informação clínica e os resultados do Raio X (Dinnet et al., 1982, citados por Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000), capaz de identificar e localizar anormalidades funcionais, fornecendo dados objetivos acerca da estrutura que podia estar lesada e associada com a sintomatologia, sendo útil para ajudar a definir diagnósticos (Kramer & Patris, 1989 citados por Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000). Contudo, este tipo de avaliação não era de fácil utilização, devido à dificuldade em extrair informação de imagens que fossem fiáveis, existindo falta de especificidade segmentar, tornando complexa a reconstrução geométrica do movimento (Antonaci, Ghirmani, Bono & Nappi, 2000). Outros dos problemas identificados relaciona-se com a quantidade de radiação libertada durante este tipo de procedimento, sendo que, se utilizado de forma sistemática, não demonstrava ser seguro para a saúde, não apresentando, por isso, uma boa relação de custo-benefício (Bush, Collins, Portman & Tillet, 2000).

Posteriormente, para responder às necessidades do dia-a-dia da prática clínica e para contornar as desvantagens anteriormente mencionadas para a radiografia, foram desenvolvidos outros instrumentos mais simples, como os goniômetros (Bible, Biswas, Miller, Whang & Grauer, 2010; Youdas, Carey & Garret, 1991 citados por Tousignant–Laflamme, Boutin, Dion & Vallée, 2013) e os inclinômetros (Dvir & Prushansky, 2000; Rix & Bagust, 2001; Williams MsCarthy, Chorti, Cooke & Gates, 2010; Youdas et al., 1992, 1991 citados por Tousignant–Laflamme, Boutin, Dion & Vallée, 2013).

Os goniômetros são dispositivos que medem a rotação relativa dos segmentos em torno de uma determinada articulação. Existem diferentes tipos, como por exemplo, os universais, os líquidos, os de gravidade e os elétricos, sendo que as vantagens da sua utilização são semelhantes. São considerados instrumentos simples, de fácil manuseamento e de baixo custo (Podolski et al., 1983 citados por Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000; Tucci et al., 1986 citados por Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000). Contudo, apesar destas vantagens, as medições das ADM da coluna cervical realizadas pelo goniômetro são, normalmente, mais inconsistentes e menos precisas comparativamente com a avaliação da mobilidade de outras articulações utilizando o mesmo instrumento (Youdas et al., 1992 & Farooq, Bandpei, Ali & Khan, 2016). Estas inconsistências e diminuição da precisão podem estar relacionadas com as diferenças na técnica de avaliação por parte dos diferentes investigadores, alinhamento desadequado do goniômetro, falta de referências anatômicas, variabilidade da posição neutra da cabeça e rigidez dos tecidos moles da região da cervical (Farooq, Bandpei, Ali & Khan, 2016).

Relativamente aos inclinômetros, existem diferentes tipos, como os líquidos e os de gravidade que são de fácil utilização, baixo-custo, rápida utilização e suficientemente precisos (Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000). No entanto, apresentam uma resolução baixa (Moffet et al., 1989 citados por Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000) e uma fiabilidade inter-observador baixa, não sendo considerados uma boa ferramenta para longos períodos de *follow-up* (Alaranta et al., 1994, citados por Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000).

Para além destes instrumentos, ainda dentro daqueles que são mais utilizados, existe o Cervical Range of Motion (CROM). O CROM mede as ADM da cervical

através de três inclinómetros separados, colocados em três planos diferentes (sagital, frontal e horizontal) numa armação de plástico, que se insere na cabeça por cima das orelhas e do nariz. O inclinómetro da rotação contém uma agulha magnética, enquanto os inclinómetros da flexão/extensão e da flexão lateral contêm agulhas de gravidade. Para além disso, possui um colar magnético usado pelo sujeito, que produz um campo magnético para mover a agulha do inclinómetro da rotação (Tousingnant, Bellefeuille, O'Donoghue & Grahovac, 2000). Apesar de todas as vantagens reconhecidas do CROM, como ser de fácil utilização, ser portátil, requerer palpação mínima de referências anatómicas, avaliar as amplitudes de movimento em todas as direções e apresentar uma boa validade ($r=0.93-0.98$), é um instrumento muito dispendioso e, por isso, de difícil acesso para ser utilizado na prática clínica, sendo normalmente mais utilizado para fins de investigação. Para além disso, este instrumento não regista automaticamente os ângulos articulares nem avalia o movimento a três dimensões (Audette, Dumas, Côté & Serres, 2010).

Os sistemas optoelectrónicos são considerados o *gold standard* na análise e avaliação do movimento humano (Sjölander, Michaelson, Jaric, & Djupsjöbacka, 2008). Como o nome sugere, são construídos por sistemas de câmaras e permitem a análise do movimento a três dimensões. Contudo, este tipo de material é de elevado custo, requer um elevado nível de *expertise* para a sua utilização, tem processos de calibração longos e necessita de um laboratório especializado para a análise de movimento, implicando a deslocação das pessoas ao mesmo (Bergamini, Ligorio, Summa, Vannozzi, Capozzo & Sabatini, 2014). Para além disso, este tipo de sistemas pode sofrer interferências ambientais, como a luz solar ou outros artefactos que impedem a visualização dos marcadores (Mayagoitia, Nene & Veltink, 2002).

O crescimento da tecnologia e a necessidade constante de responder aos cuidados de saúde de uma forma efetiva e económica, conduziu a indústria biomédica a criar dispositivos, que por um lado fossem práticos, portáteis e economicamente acessíveis e, por outro, rigorosos e precisos nas suas medições, com a capacidade para medir diferentes características cinemáticas. Desta forma, o instrumento ideal não deverá ser demasiado complexo ou invasivo e deverá fornecer dados dos quais possam ser extrapolados parâmetros

que sejam clinicamente úteis e apropriados (Antonaci, Ghirmai, Bono & Nappi, 2000). Assim, surgem os sistemas magnéticos e inerciais que têm vindo a ganhar preferência, por serem pequenos, portáteis e sem fios, o que facilita a monitorização do movimento. Para além disso, são apropriados para aplicações em tempo real, sendo também considerados de baixo-custo (Duc, Salvia, Lubansu, Feipel & Aminian, 2012) e, ao contrário dos sistemas optoelectrónicos, têm a vantagem de não sofrerem interferências ambientais, como as que foram referidas anteriormente.

Estes sistemas, para além de medirem as ADM, medem também a velocidade e aceleração. São constituídos por giroscópios, acelerómetros e sensores magnéticos (magnetómetros). Os giroscópios medem a velocidade angular que é integrada ao longo do tempo para definir a orientação dos segmentos. Os acelerómetros calculam a posição do segmento relativamente à posição inicial. Os magnetómetros, tal como as bússolas, fornecem informações acerca do norte magnético. Estes sinais, juntamente com informação da temperatura, são normalmente processados num filtro de *Kalman*, que atualiza continuamente a posição articular, retificando os erros provenientes do campo magnético e do deslocamento do sensor (Cloete & Scheffer, 2008). Estes sistemas podem ser colocados nos segmentos corporais para calcular o movimento desse segmento no espaço. Os dispositivos comerciais que já existem pertencem a companhias como a *Xsens Technologies B.V* (Enschede, Holanda), *Shimmer Sensing* (Dublin, Irlanda), *BioSyn Systems* (Surrey, BC, Canada) e *I Measure U* (Auckland, Nova Zelândia) (Al-Amri, Nicholas, Button, Sparkes, Sheeran & Davies, 2018). Para além destes dispositivos, os sistemas inerciais já fazem parte da constituição de alguns *smartphones*, visto que estes aparelhos estão muitas vezes equipados com acelerómetros e magnetómetros (Tousingnant-Laflamme, Boutin, Dion & Vallé, 2013). Alguns sistemas de realidade virtual também já incorporam estes sensores (Sarig-Bahat, Sprecher, Sela & Treleaven, 2016).

A principal limitação para a utilização destes instrumentos deve-se à escassez de estudos que avaliam as suas propriedades psicométricas, especialmente na avaliação cinemática da coluna cervical.

Recentemente, foi desenvolvida uma plataforma *hardware* de baixo custo, o *BITalino R-IoT*, que consiste num dispositivo portátil, versátil, desenhado para permitir a qualquer pessoa, desde estudantes a profissionais, criar projetos e aplicações (Silva, Guerreiro, Lourenço & Fred, 2014). A possibilidade deste instrumento medir diferentes características cinemáticas do movimento, apresenta-se como um potencial instrumento para ser utilizado na prática clínica (Batista, Silva & Fred, 2017). No entanto, para que seja possível a utilização do *BITalino R-IoT*, é necessário avaliar as suas propriedades psicométricas.

1.2. Propriedades psicométricas dos instrumentos de medida

Na generalidade, todos os instrumentos de medida devem obedecer a determinados padrões e critérios para que possam ser utilizados quer na prática clínica quer na investigação. De acordo com a taxonomia da *Consensus-based Standards for the Selection of Health Measurement Instruments* (COSMIN), que consiste numa equipa internacional multidisciplinar que trabalha para melhorar a seleção de instrumentos de medida utilizados na investigação e na prática clínica, existem propriedades de medida particularmente importantes, como a validade e a fiabilidade (Terwee, Prinsen, Chiarotto, Vet, Bouter, Alonso, Westerman, Patrick & Mokkink, 2018).

Especificamente, no que toca à validade, esta propriedade consiste em verificar se o instrumento mede o que se pretende medir (Schellingerhout, Heymans, Verhagen, Vet, Koes, & Terwee, 2011). Ou seja, descreve o quão legítimos e confiáveis são os resultados de um teste desenvolvido para determinado propósito. A validade é uma propriedade das pontuações e consequentes interpretações de um instrumento (Cook & Beckam, 2006).

Existem diferentes critérios sobre os quais a validade pode ser avaliada, nomeadamente a validade de critério, a validade de constructo, a validade de conteúdo e a validade facial (Bowling, 2014).

A validade de critério consiste na correlação de uma escala com outra medida, aceite como válida e considerada o “*gold standard*”. A validade de critério divide-se em dois tipos, a validade concorrente e a validade preditiva (Streiner, Norman

& Cairney, 2015). Na validade concorrente correlaciona-se a nova escala com a medida de critério, sendo que as mesmas são aplicadas ao mesmo tempo. É a corroboração independente de que o instrumento mede o que é suposto medir (Bowling, 2014). A validade preditiva questiona a capacidade que o instrumento tem de prever mudanças futuras nas variáveis chave, nas direções esperadas, quando as medidas/escalas forem aplicadas novamente mais tarde (Bowling, 2014).

Quando se avalia a validade de critério de instrumentos com variáveis contínuas, o método preferencial a utilizar é o Coeficiente de Correlação de *Pearson* (r), sendo que o valor desta correlação deverá ser igual ou superior a 0.70, para que a correlação seja considerada “moderada” (Terwee, Bot, Boer, van de Windt, Knol, Dekker, Bouter & Vet, 2007; Schortens, Terwee & Poolman, 2010). O valor de “ r ” pode variar entre “-1” e “1”. Se $r = -1$ existe uma “relação linear negativa perfeita”, se $r = 0$ considera-se “sem relação entre as variáveis” e se $r = 1$ considera-se uma “relação positiva linear perfeita” (Rumsey, 2003). Se o valor de r variar entre 0.00 e 0.30 considera-se uma relação “muito fraca”, entre 0.30 e 0.50 considera-se uma relação “fraca”, entre 0.50 e 0.70 considera-se uma relação “moderada”, entre 0.70 e 0.90 considera-se uma relação “forte” e, por fim, se variar entre 0.90 e 1.00 considera-se uma relação “muito forte”. Se os dados não seguirem uma distribuição normal, opta-se pelo método de correlação de *Spearman* (Mukaka, 2012). O Coeficiente de Correlação de *Spearman* varia, igualmente, entre -1 e 1, sendo uma medida de associação não paramétrica entre duas variáveis pelo menos ordinais. A interpretação dos seus valores é feita de igual forma aos valores do Coeficiente de Correlação de *Pearson* (Maroco, 2007).

A validade de constructo baseia-se na corroboração de que o instrumento mede o conceito subjacente que pretende medir. A validade de constructo pode dividir-se em validade convergente e validade discriminante. A validade convergente requer que a escala se correlacione com variáveis similares (correlações com medidas com constructos semelhantes, ou com possíveis constructos para serem associados). As correlações irão variar, dependendo da semelhança entre as medidas. A validade discriminante requer que o constructo não se correlacione com variáveis diferentes (não se espera que existam baixas

correlações entre a medida e diferentes constructos sem que as mesmas estejam correlacionadas) (Bowling, 2014).

A validade de conteúdo é também um conceito teórico, mas é mais sistemático que a validade facial. Refere-se a julgamentos (geralmente feitos por um painel) sobre a extensão em que o conteúdo de um instrumento parece logicamente examinar e incluir, de forma equilibrada, o âmbito completo da característica ou domínio que pretende medir (Bowling, 2014).

A validade facial ou validade aparente é frequentemente confundida com validade de conteúdo, no entanto, é mais superficial. Refere-se às avaliações subjetivas dos investigadores sobre a apresentação e relevância do questionário, por exemplo, se as perguntas parecem ser relevantes, razoáveis, claras e ambíguas (Bowling, 2014).

1.3. Estudos de validade sobre os instrumentos de avaliação do movimento da coluna cervical

De forma geral, as principais limitações dos instrumentos previamente mencionados, no que toca aos estudos de validade, prendem-se com o facto de muitos dos estudos não avaliarem esta propriedade psicométrica, ou quando isso acontece, a comparação entre os instrumentos não ser feita em relação ao *gold standard* – sistemas optoelectrónicos (Robert-Lachaine, Mecheri, Larue & Plamondon, 2016).

Em relação à validade da radiografia não foram encontrados estudos que avaliassem esta propriedade para as ADM ativas da coluna cervical, sendo que, este aspeto, aliado às desvantagens supracitadas, faz com que este instrumento esteja cada vez mais em desuso.

Relativamente ao goniómetro, apenas foi encontrado um estudo (Adegoke, Offiah, Okoye & Akosile, 2015) que avalia a validade deste instrumento (goniómetro simples) para as ADM da cervical, em comparação com uma fita de medição. Neste estudo foram avaliados 100 sujeitos assintomáticos (50 homens e 50 mulheres), por dois investigadores diferentes, um para avaliar as ADM

através de uma fita de medição e outro para avaliar as ADM através do goniómetro. Para além da correlação entre os instrumentos ser inferior a 0.70 (*Pearson* $r < 0.70$) para todos os movimentos da cervical, a validade do goniómetro não foi avaliada em relação ao *gold standard*, sendo estes aspetos considerados uma limitação ao uso deste instrumento para avaliação das ADM da cervical.

Para o estudo da validade do inclinómetro, foram aplicados três métodos diferentes. Três indivíduos, que serviram como modelos, foram avaliados por trinta e quatro investigadores (fisioterapeutas). Cada participante foi apenas medido num plano de movimento (sagital, frontal ou horizontal), com um inclinómetro simples, duplo (dois inclinómetros) e através do método de estabilização (um inclinómetro, com estabilização do tórax). Para comparar a realização destes movimentos, foram tiradas radiografias (para avaliar a flexão, a extensão e a flexão lateral esquerda e direita) e tomografias computadorizadas (para avaliar as rotações). Cada um dos 34 investigadores avaliou o mesmo participante. Cada movimento foi avaliado três vezes com cada um dos inclinómetros, tendo sido calculada a média e o desvio padrão dos resultados, para cada tipo de inclinómetro. Para este estudo, os investigadores consideraram uma medida válida se a média obtida para os movimentos avaliados por cada inclinómetro apenas divergisse $\pm 5^\circ$ em relação ao método de comparação (radiografias ou TAC). No que toca aos resultados, para a flexão com o inclinómetro simples $M=60.74^\circ$ ($DP=9.19^\circ$), com o inclinómetro duplo $M=61.40^\circ$ ($DP=10.13^\circ$) e com método de estabilização $M=73.75^\circ$ ($DP=6.21^\circ$). Para a extensão com o inclinómetro simples $M=60.99^\circ$ ($DP=5.63^\circ$), com o inclinómetro duplo $M=60.29^\circ$ ($DP=6.79^\circ$) e com o método de estabilização $M=68.60^\circ$ ($DP=4.64^\circ$). Para a flexão lateral direita, com o inclinómetro simples $M=61.74^\circ$ ($DP=7.63^\circ$), com o inclinómetro duplo $M=56.15^\circ$ ($DP=7.64^\circ$) e com o método de estabilização $M=67.74^\circ$ ($DP=5.34^\circ$). Para a flexão lateral esquerda, com o inclinómetro simples $M=60.11^\circ$ ($DP=5.86^\circ$), com o inclinómetro duplo $M=53.32^\circ$ ($DP=7.41^\circ$) e com o método de estabilização $M=66.12^\circ$ ($DP=5.84^\circ$). Para a rotação direita $M=83.64^\circ$ ($DP=04.10^\circ$) e para a rotação esquerda $M=87.70^\circ$ ($DP=4.78^\circ$). Em relação às medições radiográficas, para a flexão

M=57.5°, para a extensão M=66.0°, para a flexão lateral direita M=42.0°, para a flexão lateral esquerda M=46.0°, para a rotação direita M=65.5° e para a rotação esquerda M=75.0°. De acordo com os autores, o inclinómetro simples e o inclinómetro duplo demonstraram ser válidos para a flexão e o inclinómetro simples e o método de estabilização demonstraram ser válidos para a extensão, tendo em conta que a diferença de médias entre estes métodos e as medidas radiográficas não ultrapassou os 5°. Para a flexão lateral esquerda e direita, bem como para ambas as rotações, nenhum dos métodos demonstrou ser válido, visto que a diferença entre estes métodos e as medidas radiográficas ultrapassaram os 5°.

As conclusões deste estudo apresentam algumas limitações, pois não é possível extrair informação relativa à validade de um instrumento apenas com os valores da diferença das médias entre dois instrumentos. Como tal, deveriam ter sido apresentados valores de correlação de *Pearson* ou *Spearman* (Bush, Collis, Portman & Tillet, 2000). Para além disso, a comparação dos instrumentos não foi feita em relação ao *gold standard* – sistemas optoelectrónicos.

A validade de critério do CROM foi avaliada em três estudos diferentes. Num estudo realizado por Tousignant, Bellefeuille, O'Donoghue & Grahovac (2000), com uma amostra de 31 sujeitos (21 mulheres e 10 homens) voluntários, assintomáticos, chegou-se à conclusão que o CROM, quando comparado com as imagens radiográficas, apresenta uma boa validade de critério nos movimentos de flexão ($r=0.98$) e extensão da cervical ($r=0.97$). Para avaliar a flexão lateral esquerda e direita, Tousignant et al (2002) compararam a validade de critério do CROM com imagens radiográficas, numa amostra de 24 indivíduos com dor cervical. Os resultados demonstraram uma boa validade para ambos, sendo que para a flexão lateral esquerda $r=0.82$ (IC 95%, 0.62-0.92°) e para a flexão lateral direita $r=0.84$ (IC 95%, 0.66-0.93°). Para os movimentos de rotação esquerda e direita, a validade de critério do CROM foi avaliada através da comparação com um sistema de câmaras optoelectrónico (sistema *Optitrack*) (Tousignant et al., 2006), com uma amostra de 55 indivíduos assintomáticos (34 mulheres e 21 homens), tendo-se obtido os seguintes resultados: para a rotação direita, $r=0.89$ (95% IC, 0.81 – 0.94°) e rotação esquerda, $r=0.94$ (95% IC, 0.90-

0.97°). Tendo em conta os resultados, chegou-se à conclusão de que o CROM demonstrou resultados excelentes para a validade de critério para todos os movimentos da coluna cervical, no entanto, apenas as rotações foram avaliadas em relação ao *gold standard*, o que constitui uma limitação à validade deste instrumento.

Em relação aos sistemas magnéticos e inerciais, apesar das vantagens que estes sistemas podem oferecer, os estudos sobre a validade concorrente destes instrumentos ainda são escassos. Tendo em conta os instrumentos acima mencionados que se inserem nesta categoria, apenas foram encontrados estudos de validade para aplicações de *smartphones* para a avaliação das ADM da cervical.

Para estudar a validade de uma aplicação do *iPhone™* relativamente às ADM da cervical, foi selecionada uma amostra de 28 indivíduos saudáveis, assintomáticos, onde 2 investigadores avaliaram as ADM da cervical de cada participante, uma vez com o *iPhone™* e outra com o CROM. Quando comparado com o CROM observou-se uma boa validade para os movimentos de flexão ($r=0.69$, $p=0.001$), flexão lateral direita ($r=0.80$, $p<0.001$) e flexão lateral esquerda ($r=0.63$, $p<0.001$). Observou-se uma validade moderada para o movimento de extensão ($r=0.56$, $p=0.002$) e rotação direita ($r=0.58$, $p<0.01$) e uma validade pobre para o movimento de rotação esquerda ($r=0.38$, $p=0.04$). Perante estes resultados, os autores concluíram que a validade do *iPhone™* pode ser considerada boa para todos os movimentos da coluna cervical, exceto para o movimento de rotação. Os autores apontam como possível explicação, o facto de este movimento ser avaliado apenas por magnetómetros que, por serem sensíveis aos campos magnéticos envolventes, podem, desta forma, interferir nos resultados (Tousignant-Laflamme, Boutin, Dion & Vallé, 2013).

Apesar destas conclusões serem favoráveis, a validade de critério deste instrumento não foi comparada a três dimensões nem com o *gold standard* – sistemas optoelectrónicos.

Noutro estudo realizado por Quec, Brauer, Treleaven, Pua, Mentiplay & Clark (2014), foi estudada a validade de critério de uma aplicação para *smartphones*, em comparação com um sistema optoelectrónico *VICON Nexus V 1.7.1*, numa

amostra de 21 indivíduos assintomáticos. Para determinar a validade foi calculado o Coeficiente de Correlação Intra-classe (CCI) e o Coeficiente da Correlação de *Spearman* (r_s). Apesar dos resultados terem demonstrado ser excelentes para a validade concorrente nos movimentos de flexão, extensão e flexão lateral (CCI>0.90, r_s >0.84), para os movimentos de rotação apenas demonstraram uma validade moderada, nomeadamente, para a rotação esquerda (CCI=0.53, r_s =0.52) e para a rotação direita (CCI=0.53, r_s =0.81). Desta forma, este instrumento é considerado válido para os movimentos de flexão, extensão e flexão lateral, mas não para os movimentos de rotação. Os autores referem que os movimento realizados quer no plano sagital, quer no plano frontal são avaliados por acelerómetros, dependentes da gravidade, enquanto os movimentos que ocorrem no plano horizontal são avaliados por magnetómetros, que à semelhança do estudo anterior, podem ser adversamente afetados por campos magnéticos envolventes.

Noutro estudo realizado por Guideti, Placentino & Baldari (2016), avaliou-se a validade de critério de uma aplicação inclinométrica para o iPhone 5C para quantificar a mobilidade da coluna cervical em comparação com um inclinómetro líquido, numa amostra de 23 sujeitos adultos assintomáticos. Este estudo difere dos anteriores, pois utiliza apenas as funções inclinométricas para avaliar todos os movimentos, incluindo a rotação, visto que utilização de magnetómetros tem tido resultados menos favoráveis, que se evidenciam quando se avalia a validade de critério.

Para avaliar a validade de critério foi utilizado o CCI, bem como a correlação de *Pearson*. Relativamente aos resultados, a aplicação do iPhone demonstrou excelentes resultados para a validade de critério, baseados nos valores de r_s >90 e nos valores de CCI >90. Apesar de este estudo apresentar resultados mais favoráveis relativamente aos dados da validade de critério para todos os movimentos, esta comparação não foi feita em relação ao *gold standard* – sistemas optoelectrónicos.

Face às limitações referidas para estes instrumentos, o presente estudo propõe-se a estudar um potencial novo instrumento para medir as ADM da coluna cervical, que se inclui nos sistemas magnéticos e inerciais – a plataforma *BITalino R-IoT* - em comparação com um sistema de referência – sistema

optoelectrónico - considerado o *gold standard* para a avaliação do movimento humano. Apesar da capacidade deste instrumento avaliar outras variáveis cinemáticas, como a velocidade e a aceleração, neste estudo, apenas serão tidos em conta os ângulos absolutos e as ADM da cervical. Deste modo, o objetivo deste estudo é avaliar a validade concorrente da plataforma *BITalino R-IoT* na medição dos ângulos absolutos e das amplitudes de movimento ativas da coluna cervical em indivíduos adultos assintomáticos em comparação com o Sistema *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.*

2. Metodologia

Tipo de estudo

Tendo em conta o objetivo do projeto, foi realizado um estudo metodológico para avaliar a validade concorrente do Sistema *BITtalino R-IoT* tendo por referência um sistema optoelectrónico - *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc* (Blair, Duthie, Robertson, Hopkins & Ball, 2018).

Participantes

Para este estudo foi utilizada uma amostra não probabilística por conveniência (relativamente às características da população e proximidade geográfica) de 22 indivíduos (número de amostra escolhido tendo por base um estudo anterior semelhante – Quek et al., 2014), saudáveis, recrutados na Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal (ESS/IPS), maioritariamente estudantes e que cumpriram os critérios de inclusão e exclusão, sendo eles os seguintes:

Critérios de Inclusão:

- Idade entre 18 e 65 anos (Bahat, Sprecher, Sela & Treleaven, 2016);
- Nunca tenham experienciado dor cervical em algum momento, com a necessidade de recurso ao médico e/ou outro profissional de saúde (Sarig-Bahat, Weiss & Laufer, 2009);
- Saber ler e escrever Português.

Critérios de exclusão:

- Trauma ou intervenção cirúrgica prévia à coluna cervical (Sarig-Bahat, Weiss & Laufer, 2009);
- Qualquer outra condição clínica diagnosticada que possa afetar a mobilidade da coluna cervical, tais como radiculopatia cervical, espondilite anquilosante ou artrite reumatoide (Chan Ci En, Clair & Edmonston, 2009);

- Situações diagnosticadas de malignidade e doenças sistémicas (Sarig-Bahat, Weiss and Laufer, 2009).

O recrutamento dos participantes foi realizado após o estudo ter sido aprovado pela Comissão Especializada de Ética para a Investigação da ESS/IPS.

O recrutamento dos participantes teve lugar na ESS/IPS. Previamente à divulgação junto dos estudantes, foi pedida autorização à coordenadora do curso de fisioterapia. O estudo foi divulgado na plataforma *e-learning* do *moodle* e verbalmente aos estudantes nas respetivas turmas, onde foi feita uma breve descrição acerca do seu objetivo e dos procedimentos, em geral. Posteriormente, foi agendada uma sessão presencial com os indivíduos interessados em participar no estudo, no *Sense&Motion Lab* da ESS/IPS e enviada informação relevante para o e-mail de cada participante, com indicações gerais acerca do estudo. Nesta sessão presencial, após a triagem através dos critérios de inclusão e de exclusão, acima mencionados, foi entregue a carta explicativa do estudo (Apêndice 1) e cada participante assinou um consentimento livre e informado (Apêndice 2), caso concordasse em participar no estudo.

Após o preenchimento dos documentos acima referidos, foram novamente verificados os critérios de inclusão e de exclusão através do preenchimento, por parte dos participantes da Escala Numérica da Dor (END) (Vernon, 2008) e da avaliação da incapacidade funcional associada à dor cervical, através do *Neck Disability Index – Versão Portuguesa* (Cruz, Fernandes, Carnide, Domingues, Pereira, & Duarte, 2015). Se verificados os critérios, cada participante preencheu, ainda, um questionário de caracterização sociodemográfica e foi-lhe medida a massa (kg), altura (m) e calculado Índice de Massa Corporal (Kg/m^2).

2.1. Instrumentos

Sistema de Captura do Movimento Humano (Sistema *Optitrack, Flex 3 NaturalPoint, Inc*)

O Sistema *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.* consiste num conjunto de 12 câmaras, colocadas em círculo, que mede as variáveis cinemáticas nos segmentos em análise, sendo considerado o instrumento *gold standard* para a avaliação cinemática 3D do movimento humano, com capacidade de recolha do movimento nos 3 eixos (x, y, z) para fornecer os valores de ADM (Sjölander, Michaelson, Jaric & Djupsjöbacka, 2008). Em relação às suas propriedades psicométricas, ainda não existem estudos realizados para a coluna cervical, especificamente para este modelo/marca. No entanto num estudo realizado por Inokuchi, Tojima, Mano, Ishikawa, Ogata & Haga (2015) para um sistema optoelectrónico semelhante (VICON Motion System Ltd, Oxford, UK), chegou-se à conclusão, que quando comparado com o CROM demonstrou ser um instrumento válido ($r_s=0.78$ a 0.86) e fiável ($CCI=0.74-0.95$) na avaliação de todos os movimentos da cervical, demonstrando uma diferença de médias das ADM que varia apenas entre 3.8° a 5.6° .

Plataforma *BITalino R-IoT*

A plataforma *BITalino R-IoT* (http://bitalino.com/docs/R-IoT_User_Guide.pdf) consiste num dispositivo portátil constituído por três sensores diferentes, um acelerómetro tri-axial, um giroscópio tri-axial e um magnetómetro tri-axial, o que lhe confere a capacidade para avaliar as diferentes características cinemáticas, nomeadamente, deslocamento, velocidade e aceleração. A fusão dos seus três sensores permite medir a orientação 3D, no que diz respeito a um sistema de coordenadas fixo, não dependendo da observação do utilizador (Ricci, Taffoni & Formica, 2016).



Figura 1 – Plataforma BITalino R-IoT

Esta plataforma tem a capacidade de converter os sinais analógicos dos sensores, em sinais digitais, para que possam ser processados pelo *software* e usados em aplicações (Páris, Barbosa, Ferreira & Gomes, 2017).

Neste projeto de investigação foi utilizada a versão *BITalino R-IoT* (Rev. 1.0).

A conexão do *BITalino R-IoT* ao computador é feita via *Bluetooth*, sendo que o *software* disponível para utilização do *BITalino R-IoT* é o *Open Signals*, que permite a aquisição e visualização de diferentes sinais e de diferentes sensores [http://bitalino.com/downloads/int-releases/OpenSignals_\(r\)evolution_Manual.pdf](http://bitalino.com/downloads/int-releases/OpenSignals_(r)evolution_Manual.pdf) (Páris, Barbosa, Ferreira & Gomes, 2017).

Escala Numérica da Dor (END)

Esta escala consiste num conjunto de 11 pontos, variando entre valores inteiros de 0 a 10 pontos, sendo que 0 representa “Ausência de dor” e 10 representa “Pior dor que se pode imaginar”. O indivíduo deve assinalar o número que melhor representa a sua dor. No que toca às suas propriedades psicométricas, esta escala apresenta uma fiabilidade teste-reteste de moderada a alta, variando entre 0.67 e 0.96 (Kahl & Cleland, 2005). Relativamente à validade de constructo, quando comparada com a EVA, a END apresenta valores de validade convergente que variam entre 0.79 a 0.95 (Kahl & Cleland, 2005). Num estudo realizado por Cleland, Childs, & Whitman (2008) com utentes com dor cervical crónica, os resultados relativos à diferença mínima clinicamente importante foram de 1.3 pontos e de 2 pontos para a diferença mínima detetável. Em Portugal, um trabalho realizado por Pereira e Cruz (2012) identificou uma

diferença mínima clinicamente importante de 2 pontos na END para uma amostra de 88 utentes com dor cervical crónica não específica (Duarte, 2013).

Neck Disability Index (NDI)

Esta escala mede a incapacidade funcional, constituída por 10 secções, nomeadamente: intensidade da dor, cuidados pessoais (lavar-se/vestir-se), levantar coisas, leitura, dores de cabeça, concentração, trabalho/atividades diárias, guiar um carro, dormir e atividades de lazer. A pontuação de cada secção varia entre 0 e 5, sendo que 0 corresponde a “nenhuma incapacidade” e 5 a “incapacidade extrema”. A pontuação total obtém-se pela soma da pontuação de todas as secções (pelo menos 8 têm que ser respondidas), podendo variar entre 0 e 50 pontos. Nos casos em que uma ou duas secções não são respondidas, a pontuação de cada uma é somada e convertida numa escala de 100% e posteriormente dividida por 2 (MacDermid, Walton, Avery, Blanchard, Etruw, McAlpine, & Goldsmith, 2009 & Vernon, 2008).

Em relação à interpretação do score, entre 0-4 pontos “não há incapacidade”, entre 5-14 “incapacidade leve”, entre 15-24 “incapacidade moderada”, entre 25-34 “incapacidade severa e >34 incapacidade completa (Vernon, 2008). O NDI tem demonstrado ser um instrumento confiável, forte, coerente e válido para a avaliação da incapacidade funcional em indivíduos com dor cervical aguda e crónica, lesões associadas a *whiplash*, radiculopatia cervical e dor neurogénica (Cleland et al., 2008; En, Clair & Edmonston, 2009; MacDermid et al., 2009; Vernon, 2008 citados por Domingues et al, 2011). De acordo com uma revisão sistemática elaborada por Macdermid e colaboradores (2009), concluiu-se que este instrumento apresenta uma boa consistência interna, variando esta entre ($\alpha = 0.70$ a 0.969) e revelando uma fiabilidade intra-observador elevada, sendo o CCI superior a 0.90 (Domingues e Cruz, 2011).

Esta escala encontra-se validada para a população portuguesa, sendo que Cruz, Fernandes, Carnide, Domingues, Pereira & Duarte (2015) procederam à avaliação da validade de constructo da versão portuguesa do NDI (NDI-PT) para a sua aplicação em indivíduos com Dor Cervical Crónica (DCC), recorrendo a uma amostra de 110 participantes com DCC de origem músculo-esquelética e

de causa não traumática. Os mesmos autores desenvolveram outro estudo, também para uma população com DCC, centrado na avaliação do poder de resposta e na determinação da diferença mínima detetável (DMD) e da diferença mínima clinicamente importante (DMCI). Os resultados revelaram que este instrumento apresenta valores moderados de poder de resposta ($p=0.328$; AUC 0.595; 95%IC 0.48 a 0.71), sendo que a diferença mínima detetável foi identificada em 12 pontos e a diferença mínima clinicamente importante em 5.5 pontos (Cruz, Fernandes, Carnide, Domingues, Pereira & Duarte, 2015).

As escalas NDI e END foram utilizadas numa amostra assintomática, para garantir que os participantes cumpriam os critérios de inclusão e exclusão, sendo que, apenas seriam admitidos se apresentassem o valor 0/10 END (Kahl & Cleland, 2005) e um máximo de 4 pontos na NDI (Vernon, 2008). Estes parâmetros indicam que os participantes são assintomáticos e não apresentam qualquer incapacidade funcional associada à coluna cervical.

O questionário de caracterização sócio demográfica aborda questões como a idade, sexo, situação profissional e estado civil.

3. Procedimentos

Previamente ao início do estudo foi realizado um treino de competências pela investigadora no *Sense & Motion Lab* da ESS/IPS, ao nível do conhecimento e manuseamento dos instrumentos necessários para esta investigação, a plataforma *BITtalino R-IoT* e o sistema de captura de movimento humano *Optitrack Flex3 Naturalpoint, Inc.*

Relativamente ao procedimento experimental, em primeiro lugar, e previamente ao início de cada recolha, procedeu-se à preparação do laboratório. A fim de garantir as mesmas condições de avaliação para todos os participantes foram adotados procedimentos *standard* em todas as avaliações que serão descritas de seguida.

Em relação à recolha a partir do sistema *Optitrack Flex 3 NaturalPoint, Inc* foram colocados 3 marcadores fixos no chão (Figura 2), como referências para a calibração, dentro do espaço onde cada participante foi avaliado, e, dentro do mesmo espaço foi colocado um banco num local *standard*, onde cada participante se sentou durante a avaliação.

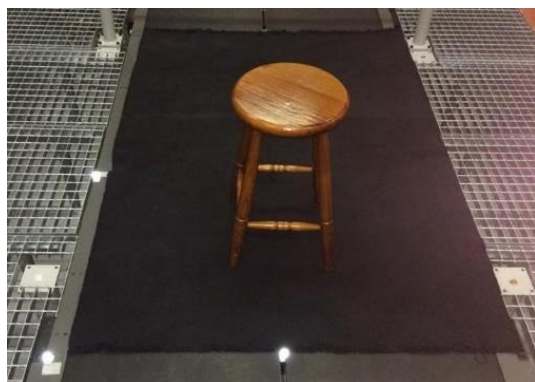


Figura 2 - Marcadores para Calibração



Figura 3 - Cabo Tensionado para Calibração

Posteriormente, ligaram-se as câmaras e reduziu-se o campo de visão das mesmas, garantindo-se que os três marcadores apareciam em cada uma delas e que os artefactos eram minimizados (através da ocultação de material refletor, por exemplo). Após estes passos procedeu-se à calibração do espaço do sistema de câmaras.

A calibração do espaço do espaço foi feita com uma varinha composta por um cabo tensionado que contém 6 marcadores refletores colocados a uma distância igual entre si, tendo um marcador extra para definir melhor a orientação da varinha no eixo do cabo (Figura 3). O procedimento da calibração é importante pois fornece informação acerca da posição de cada câmara, da sua orientação e das características das imagens, sendo que todos estes parâmetros são importantes para que a informação recolhida a três dimensões seja reconhecida e possa ser devidamente processada (Roetenberg et al., 2013). Para garantir uma boa calibração do espaço, foram realizadas, pelos menos, três tentativas de calibração de 90 segundos cada uma. A qualidade da calibração é fornecida pelo programa *AMASS*, no separador “*ViewLin*” onde é referida a percentagem do volume do espaço calibrado com sucesso, captada por cada câmara.

De forma a identificar os segmentos corporais e respetivos centros articulares foi colocado um conjunto de marcadores refletores individuais e de *clusters* em 17

pontos anatómicos diferentes, de cada participante (Figura 4 e Figura 5). Foram colocados quatro marcadores na cabeça, dois anteriores (lado esquerdo e direito) e dois posteriores (lado esquerdo e direito). De forma a melhorar a precisão da colocação destes marcadores, estes foram colados, com velcro, numa fita ajustável à cabeça (onde também foi colocado o *BITalino R-IoT*). Esta fita foi posta tendo como referências o limite superior das sobrancelhas e o bordo superior das orelhas. Foram ainda colocados marcadores na sétima vértebra cervical (C7), primeira vértebra dorsal (T1), ponto médio entre os ângulos inferiores das omoplatas, primeira, segunda e terceira vértebras lombares (L1 e L2), espinhas ilíacas pósterio-inferiores, espinhas ilíacas ântero-superiores, fúrcula esternal, apêndice xifóide e acrômios. Após a colocação dos marcadores, cada participante foi convidado a adotar a posição inicial de teste e foi-lhe colocado, por fim, o *BITalino R-IoT*, na região frontal da cabeça, acima da base do nariz, fixo com velcro à fita que contém os marcadores da cabeça.

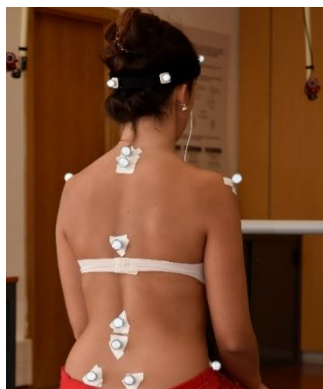


Figura 4 - Set-up Marcadores Vista Posterior



Figura 5 - Set-up Marcadores Vista Lateral

Tendo em conta a posição inicial, foram dadas instruções de forma a garantir uma posição neutra da coluna lombar e cervical, joelhos e ancas a 90°, os pés bem assentes no chão e palmas das mãos nas coxas, com os ombros relaxados.

Posteriormente, procedeu-se à sincronização dos dois sistemas. Para tal, em primeiro lugar, conectou-se o *BITalino R-IoT* ao programa *Open Signals*, e só depois se conectou o programa *AMASS*. O programa *AMASS* dita o início e o final da recolha, visto que é onde se define o tempo de gravação necessário à recolha dos dados, que neste caso foram 15 segundos, quer para os ficheiros estáticos, quer para os ficheiros dinâmicos. Desta forma, em primeiro lugar grava-se o ficheiro do *BITalino R-IoT* e deixa-se correr o programa. Logo de seguida, grava-se o ficheiro do programa *AMASS*. A conexão entre os dois

sistemas é observável num dos canais do *OpenSignals* - R13 - através de um “*trigger*” que surge na linha correspondente aos dados recolhidos pelo sistema *BITalino R-IoT*. Assim, nesta linha, observa-se, quer o início, quer o fim da recolha realizada pelos dois sistemas em simultâneo e é dentro deste intervalo que se analisam os dados recolhidos.

Com os dois sistemas sincronizados no tempo foram recolhidos dados, inicialmente na posição estática e, posteriormente, de todos os movimentos da coluna cervical, flexão, extensão, flexão lateral esquerda, flexão lateral direita, rotação esquerda e rotação direita, tendo sido recolhidas dez repetições de cada movimento. Para garantir que todos os movimentos eram realizados da mesma forma por todos os participantes, foram sempre dados os mesmos comandos de acordo com cada movimento. Para a flexão e extensão foi dado o seguinte comando: “Vai levar o seu queixo em direção ao peito o máximo possível, apenas movimentando o pescoço e sem qualquer movimento nos ombros ou costas. Quando atingir o seu máximo, regresse à posição de partida”; para a flexão lateral direita, “Vai levar a sua orelha direita em direção ao seu ombro direito o máximo possível, apenas movimentando o pescoço e sem qualquer movimento no ombro ou costas. Quando atingir o seu máximo, regresse à posição de partida”; para a flexão lateral esquerda, “Vai levar a sua orelha esquerda em direção ao seu ombro esquerdo o máximo possível, apenas movimentando o pescoço e sem qualquer movimento no ombro ou costas. Quando atingir o seu máximo, regresse à posição de partida”; para a rotação direita, “Vai rodar a cabeça para a direita o máximo possível, apenas movimentando o pescoço e sem qualquer movimento do ombro ou costas. Quando atingir o seu máximo, regresse à posição de partida”; para a rotação esquerda, “Vai rodar a cabeça para a esquerda o máximo possível, apenas movimentando o pescoço e sem qualquer movimento do ombro ou costas. Quando atingir o seu máximo, regresse à posição de partida”.

4. Processamentos dos Dados

O processamento dos dados cinemáticos recolhidos a partir do sistema optoelectrónico, foi realizado com recurso ao *software* AMASS (*ADTech Motion Analysis Software System*).

Inicialmente, cada marcador foi devidamente identificado no programa, sendo-lhe atribuído a referência anatómica respetiva, de modo a ser possível, a reconstrução 3D de cada modelo/sujeito.

Para tal, foi necessário utilizar o ficheiro de calibração correspondente a cada sujeito e torná-lo reconhecível como um ficheiro -. *cal* (de calibração). Posteriormente, todos os ficheiros correspondentes a cada movimento realizado pelos sujeitos que se encontravam numa extensão .*cen* foram convertidos em ficheiros .*seg* (segmentos de marcadores construídos tridimensionalmente) para que o AMASS os pudesse reconhecer e criar um modelo a 3 dimensões. Após a identificação de todos os pontos, os dados foram exportados com o formato *c3d*. Em seguida, estes ficheiros (*c3d*) foram tratados no programa *Visual 3D v6* (*C-Motion, Inc, Rockville, USA*), para poder ser extraída informação acerca dos ângulos absolutos e ADM dos participantes em relação aos movimentos avaliados.

Neste programa foi construído um modelo biomecânico, para ser aplicado em cada participante, com 2 segmentos corporais, a cabeça e o tórax. As extremidades do tórax foram definidas segundo as recomendações da *International Society of Biomechanics* (ISB) (Wu et al., 2005), sendo que a sua extremidade proximal foi definida como o ponto médio entre a fúrcula esternal e a sétima vértebra cervical (C7), e a extremidade distal foi definida como o ponto médio entre o apêndice xifoide e o ponto médio dos ângulos inferiores das omoplatas.

O centro articular do tórax foi definido utilizando um marcador virtual projetado através do ponto médio entre C7 e a fúrcula esternal e, lateralmente, a meia distância entre o apêndice xifoide e o ponto médio entre os ângulos inferiores das omoplatas.

Relativamente à cabeça, as extremidades foram definidas tendo em conta quatro pontos, dois anteriores (lado direito e esquerdo) e dois posteriores (lado direito e esquerdo), tendo como referência os autores Cappozzo, Cappello, Della Croce & Pensalfini (1997). A outra extremidade foi definida como o ponto médio entre o acrómio direito e o acrómio esquerdo, assim como o ponto médio entre C7 e a fúrcula esternal (Cappozzo, Cappello, Della Croce & Pensalfini, 1997).

Para definir o centro articular da cabeça foram calculados os sistemas de coordenadas locais (SCL), tendo por base Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen & Whittlesey (2014).

Após a aplicação do modelo em cada participante, foram adicionados os ficheiros dinâmicos ao programa, de forma a extrair informação acerca dos ângulos absolutos mínimos e máximos de cada movimento, assim como o respetivo desvio-padrão. Os ângulos absolutos (utilizados através de uma sequência *XYZ de Cardan*) foram calculados e expressos relativamente ao Sistema de Coordenadas Global, tendo por base Robertson et al (2014).

Os dados do *BITalino R-IoT* foram processados com recurso ao programa *Microsoft Excel 2016* (Microsoft Corp., Redmond, WA). Neste programa foi extraída informação relativamente aos valores mínimos e máximos de *yaw* (eixo do *z*) que corresponde ao movimento de rotação, *pitch* (eixo do *y*), que corresponde aos movimentos de flexão lateral esquerda e direita & *roll* (eixo do *x*), que corresponde aos movimentos de flexão/extensão, para posteriormente serem calculados os ângulos absolutos mínimos e máximos de cada movimento, assim como respetivo desvio-padrão.

5. Análise dos Dados

A análise estatística foi realizada nos programas *IBM SPSS Statistics 25.0* e *Microsoft Excel 2016* (Microsoft Corp., Redmond, WA).

Inicialmente, foi verificada a normalidade para todos os dados exportados pelo sistema *BITalino R-IoT* e pelo sistema *Optitrack Flex 3 NaturalPoint, Inc*, através do teste *Shapiro-Wilk*, uma vez que $N < 50$, sendo que a maioria dos dados apresentou uma distribuição não normal ($p > 0.05$). Posteriormente, na estatística descritiva foram aferidos os valores da média, respectivos 95% IC e DP assim como os valores mínimos e máximos dos ângulos e ADM.

Foi também calculada a variabilidade dos valores máximos e mínimos dos ângulos, através da média do respectivo DP, bem como o Erro Padrão das variáveis em estudo através da seguinte fórmula:

$$\sigma_x = \frac{s}{\sqrt{N}}$$

onde, σ_x representa o erro padrão, s o desvio padrão e N o número total de sujeitos.

Para a variável ADM, foi ainda calculada a diferença de médias e respectivos 95% IC.

Para o cálculo da diferença das médias foi utilizada a seguinte expressão:

$$\mu_{\bar{x}_{OPTI} - \bar{x}_{BIT}} = \bar{x}_{OPTI} - \bar{x}_{BIT}$$

onde, $\mu_{\bar{x}_{OPTI} - \bar{x}_{BIT}}$ representa a diferença das médias dos valores das ADM para um determinado movimento dos dois sistemas, onde \bar{x}_{OPTI} , representa a média dos valores das ADM para um determinado movimento do sistema *Optitrack Flex 3 Natural Point* e \bar{x}_{BIT} , representa a média dos valores das ADM para um determinado movimento do sistema *BITalino R-IoT*.

Para o cálculo dos 95%IC da diferença das médias foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$IC = \pm z \times \sigma_{\bar{x}_{OPTI} - \bar{x}_{BIT}}$$

onde, z toma o valor de 1,96 para 95%IC e $\sigma_{\bar{x}_{OPTI}-\bar{x}_{BIT}}$ representa o desvio padrão da diferença das médias dos dois sistemas

$$\sigma_{\bar{x}_{OPTI}-\bar{x}_{BIT}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\bar{x}_{OPTI}}^2}{N} + \frac{\sigma_{\bar{x}_{BIT}}^2}{N}}$$

onde, $\sigma_{\bar{x}_{OPTI}}$ representa o desvio padrão da média das ADM recolhidas pelo sistema *Optitrack Flex 3 Natural Point, Inc*, $\sigma_{\bar{x}_{BIT}}$, representa o desvio padrão da média das ADM, recolhidas pelo sistema *BITalino R-IoT* e “ N ” representa o número de sujeitos.

Foi ainda calculado o Coeficiente de Correlação de *Spearman*, visto que a maioria dos dados apresentou uma distribuição não normal. O nível de significância considerado foi de $p < 0.05$.

O valor mínimo estimado para que a correlação entre os resultados dos dois instrumentos fosse considerada aceitável, foi de 0.70 (Terwee et al., 2007). Se o valor de “ r ” variar entre 0.00 e 0.30 considera-se uma relação “muito fraca”, entre 0.30 e 0.50 considera-se uma relação “fraca”, entre 0.50 e 0.70 considera-se uma relação “moderada”, entre 0.70 e 0.90 considera-se uma relação “forte” e, por fim, se variar entre 0.90 e 1.00 considera-se uma relação “muito forte” (Mukaka, 2012).

6. Apresentação dos Resultados

6.1. Caracterização da Amostra

Relativamente à caracterização da amostra foram incluídos 22 participantes no estudo (14 mulheres e 8 homens; 24.3 ± 7.33 anos; 68.0 ± 11.91 Kg; 171.2 ± 8.36 cm), cujas características sociodemográficas se encontram descritas na Tabela 1. Apesar de se tratar de uma amostra constituída por indivíduos assintomáticos, foi avaliada a incapacidade funcional (NDI) e a dor (END), para garantir que os participantes não apresentavam nenhuma limitação funcional, nem dor, sendo que para os valores da incapacidade $M=1$ ($DP=1.25$) e para os valores da dor $M=0$ ($DP=0$).

Tabela 1 - Características Sociodemográficas dos Participantes

Idade	24.3±7.33*
Género	
Masculino	8 (36.36%)
Feminino	14 (63.63%)
Peso (Kg)	68.0±11.91*
Altura (cm)	171.2±8.36*
Índice de Massa Corporal (Kg/m²)	23.0±1.31*
Estado Civil	
Solteiro	19 (86.86%)
Casado	1 (4.54%)
Divorciado	1 (4.54%)
União de facto	1 (4.54%)
Habilitações Literárias	
Ensino Superior completo	3 (13.63%)
Ensino Superior incompleto	19 (86.36%)
Situação Profissional	
Trabalho a tempo inteiro	4 (18.18%)
Trabalho a Tempo parcial	0 (0%)
Desempregado	1 (4.54%)
Estudantes	15 (77.27%)

Dados relativos ao número de participantes, médias e respetivo desvio padrão* assim como percentagens das diferentes características analisadas

Tabela 2 - Resumo dos dados recolhidos pelo Sistema Optitrack

		Média (°)	95%IC	Desvio Padrão*	Mínimo (°)	Máximo (°)	Desvio Padrão Médio**	Erro Padrão
Flexão / Extensão	Ângulo Min	104.21	98.56 a 109.47	9.49	86.03	117.99	3.35	0.87
	Ângulo Max	176.15	74.18 a 178.12	3.55	167.18	179.88	1.54	0.40
	ADM	71.94	65.72 a 78.15	11.22	49.53	93.25	11.22	2.90
Flexão Lateral Esquerda	Ângulo Min	-3.90	-7.24 a -0.55	7.55	-0.33	4.60	1.55	0.33
	Ângulo Max	44.23	39.43 a 49.01	10.80	9.36	58.30	2.23	0.48
	ADM	48.13	44.65 a 48.40	7.84	29.31	61.91	7.84	1.67
Flexão Lateral Direita	Ângulo Min	-41.26	-43.90 a -38.79	5.46	-52.28	-31.30	1.93	0.42
	Ângulo Max	5.08	3.27 a 6.95	4.11	-3.28	13.08	1.65	0.36
	ADM	46.34	43.54 a 49.13	6.14	32.28	55.53	6.15	1.34
Rotação Esquerda	Ângulo Min	-74.61	-79.28 a -69.94	10.52	-103.13	-58.02	2.63	0.56
	Ângulo Max	7.16	5.70 a 8.63	3.30	2.26	13.78	2.23	0.48
	ADM	81.78	76.59 a 86.95	11.69	60.28	106.97	11.69	2.49
Rotação Direita	Ângulo Min	0.69	-1.44 a 2.81	4.54	-10.97	7.62	1.81	0.41
	Ângulo Max	80.09	75.34 a 84.82	10.41	59.85	107.29	3.10	0.68
	ADM	79.40	74.14 a 85.57	12.22	57.81	107.70	12.22	2.73

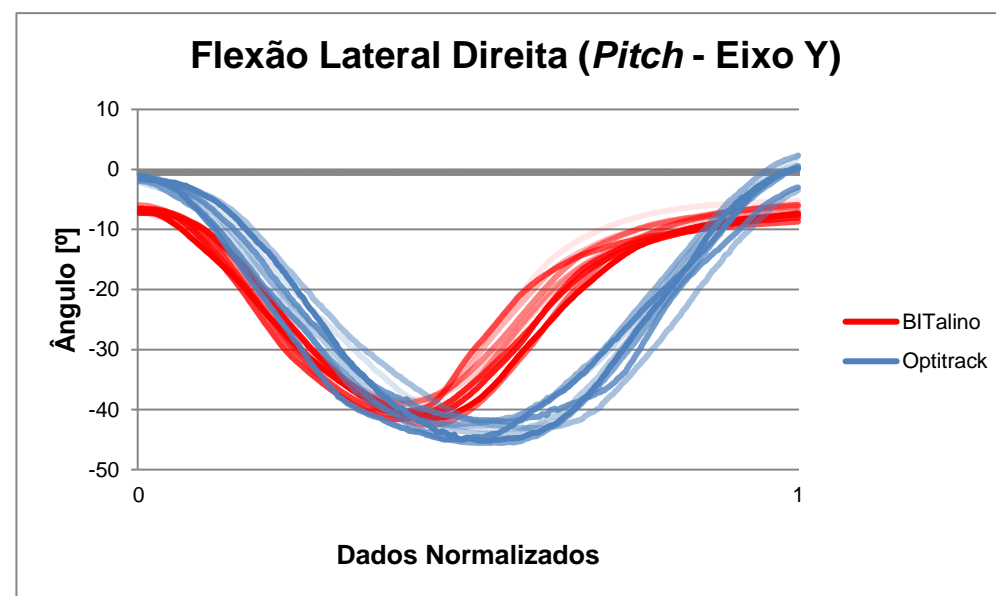
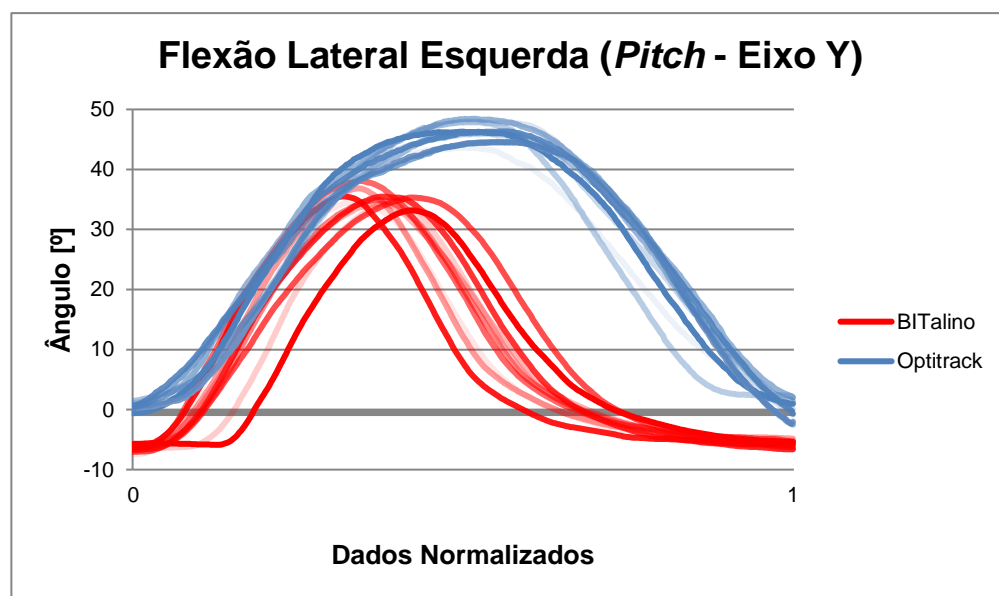
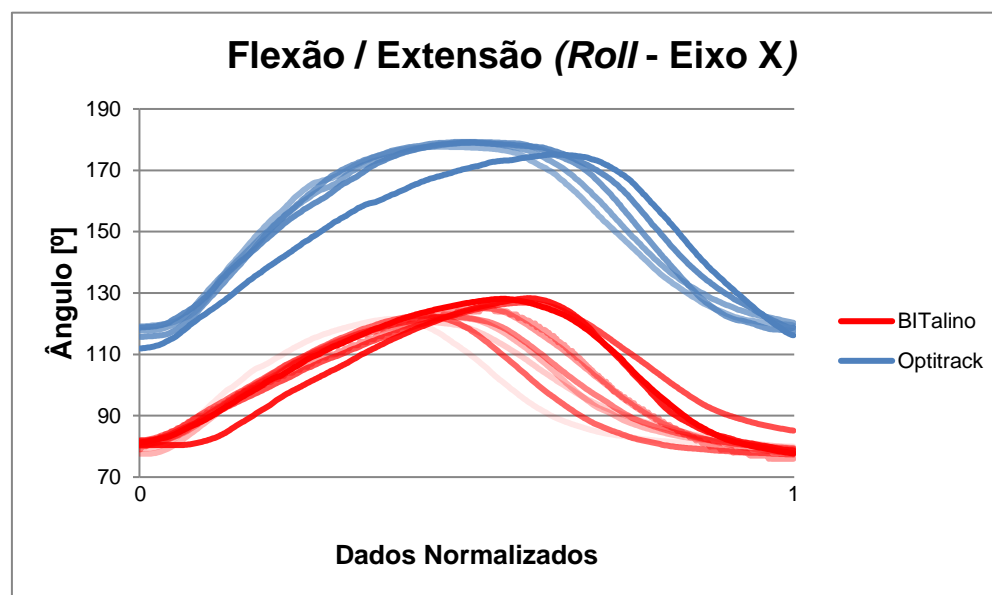
Média (°), Média dos ângulos mínimos, máximos e das ADM; 95%IC, Intervalos de Confiança dos valores médios dos ângulos mínimos, máximos e das ADM; Desvio Padrão*, Desvio padrão dos valores médios dos ângulos mínimos, máximos e das ADM; Mínimo (°), valores mínimos da média dos ângulos mínimos, dos ângulos máximos e das ADM; Máximo (°), valores máximos da média dos ângulos mínimos, dos ângulos máximos e das ADM; Desvio Padrão 2**, Desvio-Padrão Médio, médias dos Desvios-Padrão dos ângulos mínimos, máximos e das ADM para cada um dos movimentos; Erro Padrão, Erro padrão da média dos ângulos mínimos, máximos e ADM; Ângulo Mínimo, Média dos ângulos mínimos obtidos para cada um dos movimentos; Ângulo máximo, média dos ângulos máximos obtidos para cada um dos movimentos; ADM, médias das amplitudes de movimento para cada um dos movimentos.

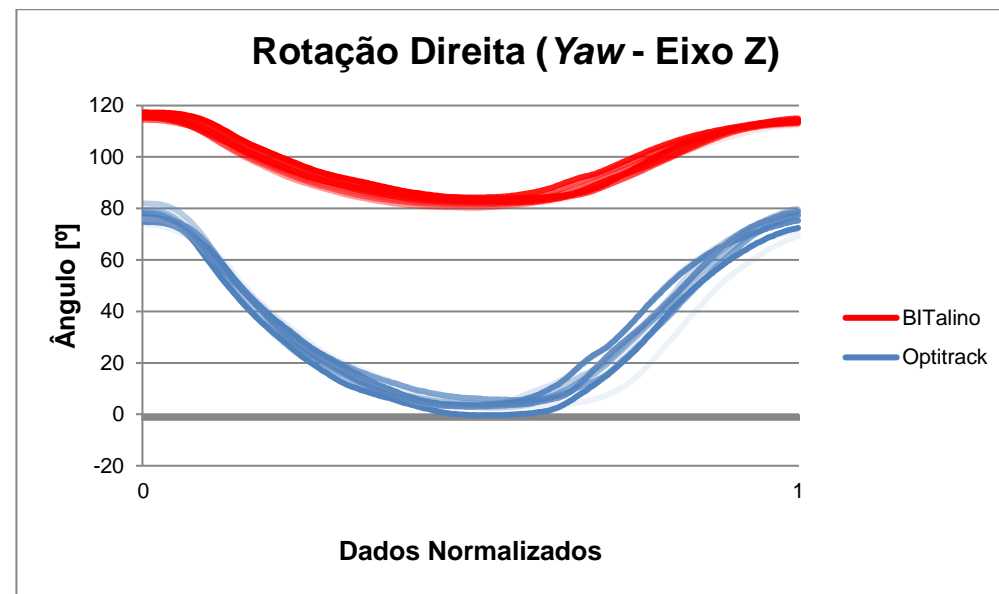
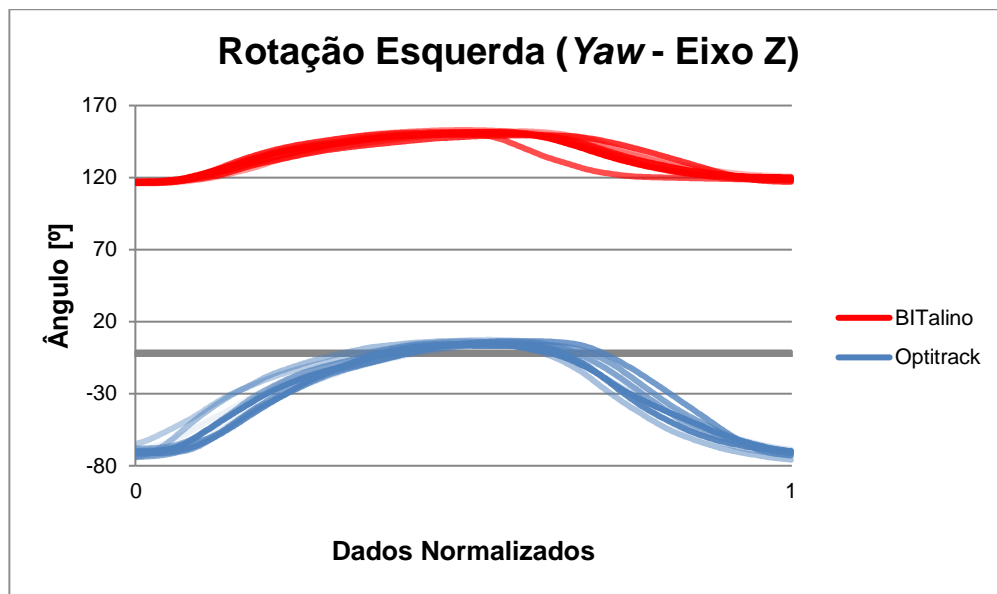
Tabela 3 - Resumo dos dados recolhidos pelo Sistema BITalino R-IoT

		Média (°)	95%IC	Desvio Padrão *	Mínimo (°)	Máximo (°)	Desvio Padrão Médio**	Erro Padrão
Flexão / Extensão	Ângulo Min	80.82	74.97 a 86.39	10.23	49.23	92.06	2.36	0.50
	Ângulo Max	131.75	125.31 a 139.73	13.02	100.75	153.23	4.08	0.87
	ADM	50.93	46.66 a 57.11	9.43	33.87	72.96	8.45	1.80
Flexão Lateral Esquerda	Ângulo Min	-6.58	-7.89 a -5.27	2.95	-12.51	-1.86	0.98	0.21
	Ângulo Max	34.18	30.18 a 37.36	7.18	21.06	48.78	2.18	0.46
	ADM	40.77	37.73 a 43.80	6.84	26.17	50.92	6.84	1.46
Flexão Lateral Direita	Ângulo Min	-39.50	-43.23 a -36.72	6.96	-51.44	-26.79	1.72	0.37
	Ângulo Max	-3.90	-5.38 a -2.41	3.35	-9.51	2.46	1.06	0.23
	ADM	35.61	33.23 a 38.24	5.49	23.35	47.90	5.40	1.15
Rotação Esquerda	Ângulo Min	110.17	107.82 a 112.53	5.31	102.27	119.30	1.08	0.23
	Ângulo Max	147.31	144.23 a 150.39	6.95	134.06	164.69	1.47	0.31
	ADM	37.14	34.96 a 39.31	4.90	29.24	49.48	4.91	1.05
Rotação Direita	Ângulo Min	73.03	69.58 a 76.22	7.09	62.48	85.25	1.62	0.34
	Ângulo Max	110.73	108.07 a 112.71	5.10	102.65	120.37	0.87	0.19
	ADM	37.70	34.54 a 38.39	6.49	28.57	52.54	6.21	1.32

Média (°), Média dos ângulos mínimos, máximos e das ADM; 95%IC, Intervalos de Confiança dos valores médios dos ângulos mínimos, máximos e das ADM; Desvio Padrão*, Desvio padrão dos valores médios dos ângulos mínimos, máximos e das ADM; Mínimo (°), valores mínimos da média dos ângulos mínimos, dos ângulos máximos e das ADM; Máximo (°), valores máximos da média dos ângulos mínimos, dos ângulos máximos e das ADM; Desvio Padrão 2**, Desvio-Padrão Médio, médias dos Desvios-Padrão dos ângulos mínimos, máximos e das ADM para cada um dos movimentos; Erro Padrão, Erro padrão da média dos ângulos mínimos, máximos e ADM; Ângulo Mínimo, Média dos ângulos mínimos obtidos para cada um dos movimentos; Ângulo máximo, média dos ângulos máximos obtidos para cada um dos movimentos; ADM, médias das amplitudes de movimento para cada um dos movimentos.

Figura 6 - Gráficos relativos aos dados recolhidos pelo Sistema BITalino R-IoT e pelo Sistema Optitrack num indivíduo exemplo





6.2. Validade das Variáveis Cinemáticas

No que se refere à validade das variáveis cinemáticas em estudo, apenas foram considerados 15 indivíduos para análise do movimento de flexão/extensão, 21 indivíduos para a flexão lateral direita e 20 para a rotação direita, devido à detecção de erros em alguns ficheiros do sistema *Optitrack Flex 3*, pelos programas *AMASS* e pelo *Visual 3D* (o que impediu a extração da informação relativa aos valores mínimos e máximos de cada movimento/repetição e consequentemente aos valores de ADM).

No programa *AMASS* (Figura 7), cada linha corresponde ao aparecimento de um dos marcadores refletivos (colocados em cada participante), ao longo do movimento. Neste caso, a descontinuidade da linha significa que o marcador correspondente não é detetado durante aquele momento, o que pode comprometer a extração de informação relativa àquele movimento.



Figura 7 – Erros detetados pelo programa *AMASS*

No programa *Visual 3D* (Figura 8), a irregularidade presente nos gráficos, impede a extração dos valores mínimos e máximos absolutos dos ângulos e, consequentemente, impede o cálculo dos valores das ADM.

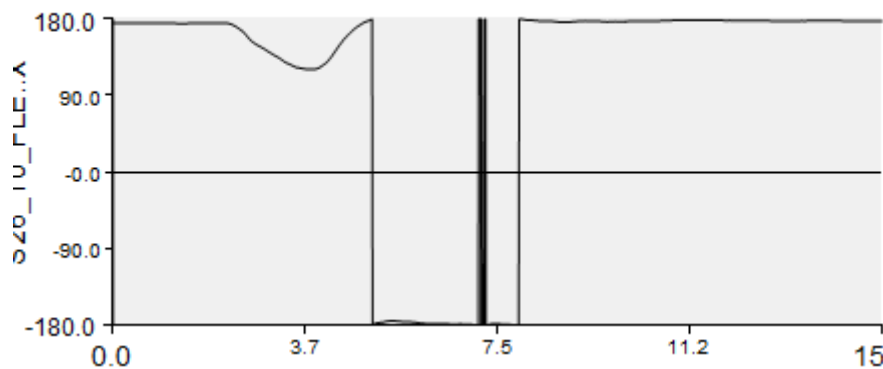


Figura 8 – Erros detetados pelo programa Visual 3D

Em relação às correlações das ADM dos movimentos avaliados pelos sistemas *BITalino R-IoT* e *Optitrack Flex 3*, todas atingiram o nível mínimo definido, uma vez que $r_s > 0.70$. Para as ADM de flexão/extensão, flexão lateral direita e rotação direita esta correlação foi considerada “forte” ($0.70 < r_s < 0.90$) e para as ADM de flexão lateral esquerda e rotação esquerda a correlação foi considerada “muito forte” ($r_s > 0.90$), como se pode observar na Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficiente de Correlação de Spearman relativo às ADM do Sistema *Optitrack* e Sistema *BITalino*

Variável	r_s	valor de p	(95%IC)
Flexão / Extensão	0.84	0.001	0.53 a 0.93
Flexão Lateral Esquerda	0.91	0.001	0.73 a 0.97
Flexão Lateral Direita	0.81	0.001	0.46 a 0.97
Rotação Esquerda	0.94	0.001	0.81 a 0.98
Rotação Direita	0.862	0.001	0.6 a 0.98

r_s : Coeficiente de Correlação de *Spearman*. p : nível de significância dos valores da correlação. 95%IC: Intervalo de Confiança de r_s

A DM das ADM dos movimentos avaliados pelos sistemas *BITalino R-IoT* e *Optitrack Flex 3*, bem como respectivos 95% IC e DP, podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Diferença das médias das ADM entre o Sistema *Optitrack* e o Sistema *BITalino R-IoT*

Variável	Diferença das Médias (°)	95%IC	Desvio Padrão
Flexão/ Extensão	21.00	13.58 a 28.42	3.78
Flexão Lateral Esquerda	7.36	3.01 a 11.71	2.22
Flexão Lateral Direita	10.74	7.22 a 14.26	1.80
Rotação Esquerda	44.64	39.34 a 49.94	2.70
Rotação Direita	41.70	35.64 a 47.76	3.09

Diferença das Médias(°), Diferença das médias das ADM dos dados recolhidos pelo Sistema *Optitrack* para os diferentes movimentos; 95%IC, Intervalo de Confiança da diferença das médias das ADM entre os dois sistemas; Desvio Padrão, Desvio Padrão da diferença das médias das ADM entre os dois sistemas;

Apesar de o *BITalino R-IoT* demonstrar ser válido ($0.81 < r_s < 0.94$) para a avaliação de todos os movimentos da coluna cervical, existe uma diferença bastante discrepante entre os valores das suas ADM, comparativamente com o sistema *Optitrack Flex 3*, especialmente nos movimentos de rotação esquerda (DM=44.64°; DP=2.70°; 95% IC 39.34 a 49.94°) e direita (DM=41.70°; DP= 3.09; 95%IC 35.64 a 47.76°). Ao analisar os 95% IC da diferença das médias das ADM da rotação esquerda (por exemplo), verifica-se que existe uma probabilidade de 95% da diferença entre os valores das ADM dos dois sistemas variar entre os 39.34° e os 49.94°, o que revela ser bastante acentuada.

Relativamente ao movimento de flexão/extensão houve uma DM de 21° entre os dois sistemas (DP=3.48°; IC 95% 13.58 a 28.42°), sendo que a média da ADM para o sistema *Optitrack Flex 3* foi de 71.94° (DP=11.22°; 95% IC 65.72 a 78.15°; EP=2.90) e para o sistema *BITalino R-IoT* foi de 50.93° (DP=9.43°, 95%IC 46.66 a 57.11°; EP=1,80). No entanto, os valores da correlação entre os dois sistemas foram considerados fortes ($r_s=0,84$; $p=0.001$; 95%IC 0.53 a 0.93).

No movimento de flexão lateral esquerda obteve-se uma DM, entre os dois sistemas, de 7.36° (DP=2.22°; 95%IC 3.01 a 11.71), sendo que para o sistema *Optitrack Flex 3* a média das ADM foi de 48.13° (DP=7.84°; 95%IC 44.65 a 48.40°; EP=1.67°) e para o sistema *BITalino R-IoT* M=40.77° (DP=6.84°; 95%IC 37.73 a 43.80°; EP=1.46°). Para este movimento, obteve-se uma das correlações mais fortes ($r_s=0,91$; $p=0,001$; 95%IC 0.73 a 0.97). Este foi também

o movimento onde a diferença das médias das ADM foi menor, podendo observar-se na Tabela 6, que os IC da diferença da média das ADM entre os dois sistemas, apresentam também uma diferença mais baixa, comparativamente com os outros movimentos. Relativamente aos IC das médias das ADM dos dois sistemas, para este movimento, pode verificar-se que a discrepância não é tão acentuada como no movimento de rotação esquerda, sendo que para o sistema *Optitrack Flex 3* (95% IC 44.65 a 48.49) e para o sistema *BITalino R-IoT* (95%IC 37.73° a 43.80°).

Em relação à flexão lateral direita, obteve-se uma DM=10.74° (DP=1.80°; 95%IC 7.22° a 14.26°). A média das ADM no sistema *Optitrack Flex 3* foi de 46.34° (DP=7.14°; 95%IC 43.54° a 49.13°; EP=1.34) e no sistema *BITalino R-IoT* foi 35.61° (DP=5.49°; 95%IC 33.23° a 38.24°; EP=1.15), sendo que a correlação entre os dois sistemas foi considerada “forte” ($r_s = 0.81$; $p=0.001$; 95%IC 0.46° a 0.87°). Apesar do valor desta correlação ser elevado, o limite inferior do IC é considerado baixo, o que significa que existe uma probabilidade desta correlação ser “fraca” (Mukaka, 2012).

Como referido anteriormente, no movimento de rotação esquerda foi onde se obteve a maior DM de ADM (DM=44.64°; DP=2.70°; 95%IC 39.34 a 49.94°). Relativamente ao sistema *Optitrack Flex 3*, obteve-se uma DM de 81.78° (DP=11.69°; 95%IC 79.59 a 86.97°) e para o sistema *BITalino R-IoT* de 37.14° (DP=4,90°; 95%IC 34.96 a 39.31°;EP=1.05°). Ao analisar as tabelas referentes aos dados do sistema *Optitrack Flex 3* e do sistema *BITalino R-IoT*, pode verificar-se que os IC 95% dos dois sistemas relativos às médias das ADM deste movimento também são bastante discrepantes, sendo que para o sistema *Optitrack Flex 3* existe uma probabilidade de 95% dos valores das ADM deste movimento variarem entre 76.59 e 86.95°, enquanto para o sistema *BITalino R-IoT* existe uma probabilidade de 95% dos valores das ADM deste movimento variarem entre 34.96 a 39.31°.

Apesar das diferenças ao nível das médias das ADM, a correlação entre estes dois sistemas foi considerada a mais forte ($r_s=0.94$; $p=0.001$; 95%IC 0.81 a 0.98).

No movimento de rotação direita obteve-se uma DM das ADM, de 41.70° (DP=3.09°; 95%IC 35.64° a 47.76°), tendo o sistema *Optitrack Flex 3* revelado um valor de 79.40° (DP=12.22°; 95%IC 74.14° a 85.57° ; EP=2.73°) e para o *BITalino R-IoT* 37.70° (DP=6.49°; 95%IC 34.54° a 38.89° ; EP=1.32°). Para este movimento obteve-se uma correlação forte ($r_s=0.87$; $p=0.001$; 95%IC 0.6° a 0.98°).

Relativamente às médias dos ângulos mínimos e máximos dos dois sistemas, pode observar-se uma grande variabilidade entre ambos, como é visível nas Tabelas 2 e 3. Por exemplo, no movimento de rotação esquerda, no sistema *Optitrack Flex 3* para o ângulo mínimo obteve-se um valor médio de -74.61° (DP=11.69°; 95%IC -79.28 a -69.96° ; EP=0.56°) e no sistema *BITalino R-IoT* obteve-se um valor médio de 110.17° (DP=5.31°; 95%IC 107.82° a 112.53° ; EP=0.23°). Ainda no movimento de rotação esquerda, mas para ângulo máximo, obteve-se um valor médio de 7.16° (DP=3.30°; 95%IC 5.70° a 8.63° ; EP=0.48°) para o sistema *Optitrack Flex 3* e de 147.31° (DP=6.95°; 95%IC 144.23° a 150.39° ; EP=0.31°) para o *BITalino R-IoT*. Como é observável nos gráficos da Figura 5, pode verificar-se que estes não se sobrepõem. No entanto, como têm curvas de forma e padrão semelhantes, a ADM entre os dois sistemas pode ser comparada.

Em relação aos valores de DP médio dos ângulos mínimos e máximos dos dois sistemas, pode observar-se que no sistema *BITalino R-IoT*, estes valores de DP são, de uma forma geral, ligeiramente mais baixos, o que significa que este instrumento é mais consistente nas suas medições. Por exemplo, no movimento de rotação, no sistema *Optitrack Flex 3* pode observar-se que para o valor mínimo, DP=2.63 e para o valor máximo DP=2.23. No entanto, para o sistema *BITalino R-IoT*, para o valor mínimo, DP=1.08 e para o valor máximo, DP=1.47. Em relação aos valores de EP, no sistema *BITalino R-IoT* estes valores também são ligeiramente inferiores comparativamente com o sistema *Optitrak Flex 3* (ver tabelas 2 e 3), o que significa que o *BITalino R-IoT* tem uma probabilidade de erro ligeiramente inferior.

7. Discussão dos Resultados

O presente estudo é pioneiro na avaliação da validade concorrente da plataforma *BITalino R-IoT*, tendo sido criada a sua primeira base de dados relativa ao estudo das ADM e ângulos absolutos mínimos e máximos.

Em comparação com estudos anteriores semelhantes, de outros sistemas magnéticos e inerciais, este estudo tem a vantagem de ser comparado com o *gold standard* na avaliação do movimento humano – os sistemas optoelectrónicos. Do que é do nosso conhecimento, existe apenas um estudo de validade concorrente que fez esta comparação relativamente ao *gold standard*, na avaliação dos movimentos ativos da coluna cervical, para uma aplicação de *smartphone* (Tousignant-Laflamme, Boutin, Dion & Vallé, 2013). No entanto, os autores não recomendam a utilização desta aplicação para a avaliação dos movimentos de rotação, devido à presença de erros associados ao magnetómetro, não tendo demonstrado ser válida em nenhuma das rotações, sendo que para a rotação esquerda $r=0.38$ ($p=0.04$) e para a rotação direita $r=0.58$ ($p<0.01$).

No que toca à validade concorrente, os resultados apontam que existe uma correlação que varia entre “forte” a “muito forte” para todos os movimentos da coluna cervical, o que indica que o sistema *BITalino R-IoT* é válido para a avaliação de todos os movimentos da coluna cervical, quando comparado com um sistema optoelectrónico. O mesmo não acontece com estudos anteriores semelhantes, visto que apresentam valores de correlação mais baixos para determinados movimentos, como é o caso da rotação, por ser avaliada exclusivamente por magnetómetros (Quek et al., 2014 & Tousignant- Laflamme Boutin Dion & Vallée, 2013). Do que é do nosso conhecimento, existe apenas um estudo que obteve valores de correlação de *Pearson* >90 para todos os movimentos da cervical. Contudo, o instrumento avaliado (aplicação para *smartphone*) foi comparado em relação a um inclinómetro e não ao *gold standard* (Guideti, Placentino & Baldari, 2016).

Em relação aos estudos anteriormente referidos neste projeto, sobre a avaliação da validade dos sistemas magnéticos e inerciais para avaliação das ADM da

coluna cervical, não se verificaram diferenças tão acentuadas entre as médias das ADM, como no sistema *BITalino R-IoT* em relação ao sistema *Optitrack Flex 3*.

No estudo realizado por Quek et al (2014), a diferença maior entre as médias das ADM foi de 6.1° para o movimento de rotação esquerda, enquanto no estudo realizado por de Guideti, Placentino & Baldari (2016) e Tosignant-Laflamme, Boutin, Dion & Vallé (2013), a maior diferença entre as médias das ADM foi encontrada no movimento da extensão, sendo esses valores de 1.3° e de 3.3° , respetivamente.

Numa revisão sistemática sobre o uso de sistemas magnéticos e inerciais para a avaliação do movimento humano, 8 dos 15 artigos englobados no estudo reportaram diferenças entre as médias das ADM do instrumento em estudo. comparativamente com o *gold standard*, para a coluna lombar, cervical e torácica (sistemas optoelectrónicos) (Cuestas-Vargas, Galán-Mercant & Williamns. 2010). Os maiores valores de erros foram reportados por Wong and Wong (2008) e variaram entre 22.8° e 24.7° , para a região lombar e torácica, respetivamente.

Num estudo realizado por Zhou and Hu (2010) chegou-se à conclusão que a utilização de um filtro de *Kalman* alterou a diferença da média entre os instrumentos antes ($DM=14.62^{\circ}$) e depois da aplicação do filtro ($DM=2.13^{\circ}$), não sendo especificado qual o movimento. No caso do *BITalino R-IoT*, para o cálculo do valor dos ângulos articulares também foi integrado o filtro de *Kalman*. No entanto, a DM entre os Sistemas *BITalino R-IoT* e *Optitrack Flex 3* ainda revelou ser bastante acentuada, o que pode ser explicado por outros fatores que não estão relacionados com a aplicação deste filtro.

Apesar das correlações de *Spearman*, entre os valores das médias das ADM dos dois sistemas, terem variado entre “forte” e “muito forte”, não garante que não haja diferença entre as médias destas ADM, visto que esta correlação apenas determina a força e a direção de uma relação monotónica entre duas variáveis (Bland & Altman, 1986). Isto significa que quando o valor de uma das variáveis aumenta num sistema, o valor dessa variável aumenta no outro sistema, também. Ou, se o valor de uma variável diminui num sistema, o valor da outra variável diminui no outro sistema, também.

Observando os valores mínimos e máximos de cada ângulo verifica-se que no sistema *Optitrack Flex 3*, por exemplo, para o ângulo mínimo de flexão/extensão, obtém-se um valor de 102.21° e para o ângulo máximo um valor 176.15°, sendo que, para o sistema *BITalino R-IoT*, para o ângulo mínimo obtém-se um valor de 80.82° e para o ângulo máximo um valor de 131.75°. Isto significa que, apesar destas diferenças, ambas as variáveis se comportaram da mesma forma, ou seja, no sentido crescente, o que se verifica também para as restantes variáveis (ver Tabelas 2 e 3). Esta relação pode também ser observável nos gráficos referentes ao sistema *BITalino R-IoT* e ao sistema *Optitrack Flex 3*, na Figura 5.

Ainda em relação às médias das ADM, pode verificar-se que, nos dados do sistema optoelectrónico, estes valores correspondem aos valores de ADM da cervical esperados para a idade da amostra que foi avaliada (Swinkels & Swinkels –Meewisse, 2014), o que não acontece com o sistema *BITalino R-IoT*, especialmente nos movimentos de flexão/extensão e de rotação (esquerda e direita), onde a diferença de médias das ADM é maior (Apêndice 3). Apesar dos sistemas *Optitrack Flex 3* e *BITalino R-IoT* apresentarem valores mínimos e máximos discrepantes para os movimentos avaliados, o que pode ser explicado pelo facto os dois sistemas se orientarem por diferentes referenciais, e consequentemente, os eixos não estarem alinhados, as ADM entre os dois sistemas deveriam ser mais semelhantes.

Segundo Quek et al (2014), a principal fonte de erros que podem existir nos sistemas magnéticos e inerciais, deve-se ao facto de estes instrumentos serem constituídos por magnetómetros, o que faz com que sejam sensíveis à presença de interferências magnéticas. Tal, pode acontecer por distúrbio do campo magnético terrestre, pela presença de objetos ferromagnéticos ou aparelhos elétricos especialmente em instalações fechadas, como, por exemplo, computadores (que, no caso deste estudo, se encontravam presentes no laboratório).

À semelhança de outros instrumentos, o *BITalino R-IoT* também é constituído por um magnetómetro (tri-axial), o que significa que o magnetómetro tem influência nos três eixos de movimento para fornecer os valores de ADM. Desta forma, este instrumento também pode ser perturbado pelos campos magnéticos

envolventes, podendo este ser um fator explicativo para o facto de os valores de ADM não corresponderem aos valores esperados para a amostra em estudo

Relativamente aos valores de EP, estes traduzem-se na confiança do comportamento da uma determinada média, fornecendo uma estimativa do erro ou da suscetibilidade do instrumento ser sensível à presença de fatores externos e aleatórios que possam alterar os resultados. Desta forma, o sistema *BITalino R-IoT* apresenta uma probabilidade de erro ligeiramente inferior ao sistema *Optitrack Flex 3*. No entanto, ambos apresentam valores de EP baixos, comparativamente com as médias dos ângulos mínimos, máximos e ADM.

Em relação ao sistema optoelectrónico, a perda de sujeitos para a análise de alguns movimentos (sobretudo no de flexão/extensão) deveu-se à presença de erros nos dados recolhidos por este sistema, o que impossibilitou o tratamento destes dados no programa *Visual 3D*, não sendo possível extrair os valores mínimos e máximos de cada movimento e consequentemente, calcular as ADM. Tal, pode ter resultado de diversos fatores, os quais serão descritos em seguida.

De acordo com Leardini, Chiari, Croce & Capozzo (2005) a presença de erros na recolha de dados pelos sistemas optoelectrónicos pode dever-se à má colocação e identificação das marcas anatómicas (que afeta a determinação da posição e a orientação dos segmentos) e aos artefactos dos tecidos moles (ATM), sendo estes considerados a maior fonte de erro na análise do movimento humano. Este tipo de erro deve-se a efeitos inerciais, deformação e deslize da pele (especialmente em zonas próximas de articulações) e deformação causada pela contração muscular. Os marcadores não estão fixos de forma rígida com os ossos e mesmo em condições estáticas, a representação desses mesmos marcadores também não é estacionária. Estes aspetos podem afetar, de forma crítica, o cálculo da posição e orientação do segmento do modelo (Chiari, Croce, Leardini & Capozzo, 2005). Os ATM são considerados movimentos reais, no entanto, existem ainda os movimentos aparentes, fruto de erros sistemáticos e aleatórios. Estes erros sistemáticos podem dever-se à falta de precisão de calibração (como no cálculo dos parâmetros do modelo) ou ao uso de um modelo inadequado. A calibração, apesar de ser feita para diminuir os erros, pode contribuir para os mesmos, se não se conseguir obter um *standard* perfeito. Os erros aleatórios podem dever-se a ruído eletrónico, imprecisão da conversão da

imagem dos marcadores em pontos e distorção da forma relativa à imagem dos marcadores/modelo (Chiari, Croce, Leardini & Capozzo, 2005).

Em relação ao tipo de erros presente neste estudo, em particular, aqueles que parecem ter tido mais influência, considerando o sistema optoelectrónico, relacionam-se com os ATM, sendo que, no movimento de flexão, muitas vezes o participante referia que sentia o marcador (colocado em C7) a “descolar”, algo que, por vezes, tinha que ser reajustado durante a recolha. Para além disso, no programa *AMASS*, foi possível observar o “desaparecimento” deste marcador ao longo do movimento do participante. Apesar de ter sido aplicado um filtro para minimização do erro, parece não ter sido suficiente para alguns ficheiros, tendo em conta que o programa *Visual 3D* não conseguiu extrair informação acerca deste movimento.

Para futuras investigações, sugere-se a verificação da presença de todos os marcadores antes da recolha de dados, fazendo um teste com os participantes, pedindo a realização de todos os movimentos da coluna cervical previamente às recolhas de dados, para confirmar se todos estes são detetados pelo programa *AMASS* e aparecem de forma contínua durante a realização dos movimentos.

Para além da presença de ATM, a falta de precisão da calibração do espaço das câmaras pode ter tido influência nos resultados. Esta falta de precisão da calibração deve-se ao facto de nem sempre se ter conseguido um *standard* perfeito deste ficheiro para a recolha de dados, apesar de terem sido realizadas, pelo menos, 3 calibrações antes da recolha, para depois ser aplicada a que apresentava a melhor qualidade. Para futuras investigações, sugere-se a verificação de todos os objetos presentes no laboratório (especialmente aqueles que podem refletir algum tipo de brilho), para que estes artefactos não interfiram com a recolha de dados. Sugere-se, ainda, a verificação da posição de cada câmara para garantir que o espaço da recolha é captado pelas 12 câmaras e que o espaço calibrado corresponde ao espaço onde decorre a recolha de dados.

8. Contribuição e Limitações do Estudo

Como fatores positivos para este estudo destaca-se o facto de o *BITalino R-IoT* ter sido comparado com o *gold standard* e as recolhas de dados terem sido feitas pelos dois instrumentos ao mesmo tempo, o que garante que os movimentos avaliados foram os mesmos, o que não acontece para outros estudos (Quek et al., 2014 & Tousignant-Laflamme, Boutin, Dion & Vallé, 2013).

Outro dos pontos fortes prende-se com o rigor metodológico deste estudo. Para tal, foi criada uma lista de procedimentos *standard*, de forma a garantir as mesmas condições para todas as recolhas. Destes procedimentos destacam-se por exemplo, a adoção de marcas no chão, de forma a garantir que os participantes se sentavam sempre no mesmo sítio, a utilização do mesmo banco e a verbalização dos mesmos comandos para a realização dos movimentos pelos participantes. Para além disso, foram também criadas marcas na fita onde se inseriu o *BITalino R-IoT*, de forma a garantir que o instrumento estava sempre colocado no mesmo sítio (dento dessas marcas). Em relação à colocação da fita também foram definidas referências (acima da linha das sobrancelhas e do bordo superior das orelhas) de forma a colocá-la sempre de igual forma nos participantes.

As principais limitações deste estudo relacionam-se com a falta de precisão em alguns procedimentos, como por exemplo, nas calibrações, e de não se ter verificado a presença de todos os marcadores nas câmaras, aquando da realização dos movimentos da coluna cervical, que deveria ter sido realizada previamente à recolha de dados dos participantes.

O tamanho reduzido da amostra (22 participantes) também pode ser considerado uma das limitações do estudo, agravado pelo facto de ter havido uma perda de 7 sujeitos nos movimentos de flexão/extensão. Desta forma, uma amostra maior traria um maior rigor estatístico aos resultados.

9. Conclusão

O *BITalino R-IoT* demonstrou ser um instrumento válido para a avaliação das ADM da cervical. Para além de ser comparado com o *gold standard*, o *BITalino R-IoT*, apresenta ainda inúmeras vantagens, como ser de baixo custo, portátil, sem fios, não dependente da observação do utilizador, podendo ser utilizado quer por profissionais de saúde, quer pelos próprios utentes em clínicas ou nas próprias casas (Silva et al., 2014). Contudo, este instrumento não demonstrou ser válido para a avaliação dos ângulos absolutos máximos e mínimos. Adicionalmente, os valores das médias de ADM que fornece não correspondem aos valores esperados para a idade da amostra que foi avaliada, podendo observar-se uma DM das ADM bastante acentuada entre os dois sistemas, especialmente nos movimentos de rotação.

Tendo em conta o tipo de erros que pode existir neste tipo de sistemas, coloca-se a possibilidade de os resultados poderem ter sido influenciados por campos magnéticos envolventes, que podem interferir com os magnetómetros que fazem parte da constituição deste instrumento.

Sugere-se, por isso, uma investigação mais aprofundada para que possa ser conhecida a real fonte de erro que contribui para o desadequado fornecimento dos valores das médias das ADM.

Bibliografia

Adegoke, B. Offiah, M. Okoye, E. Akosile, C. (2015) *Intra-rater reliabilities and concurrent validity of the universal goniometer and tape measure for measuring cervical active range of motion. Journal of Musculoskeletal Research*, Vol. 18, N°1;

Al-Amri, M. Nicholas, K. Button, K. Sparkes, V. Sheeran, L. & Davis, J. (2018) *Inertial Measurement Units for Clinical Movement Analysis: Reliability and Concurrent Validity*. Sensors. Doi:10.3390/s18030719;

Antonaci, F. Ghirmai, S. Bono, G. Nappi, G. (2000) *Current methods for cervical spine movement evaluation: A review. Clinical and Experimental Rheumatology*;

Audette, I., Dumas, J.-P., Côté, J. N., & De Serres, S. J. (2010). *Validity and Between-Day Reliability of the Cervical Range of Motion (CROM) Device. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(5), 318–323.
<https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3180>;

Batista, D., Silva, H., & Fred, A. (2017). *Experimental characterization and analysis of the BITalino platforms against a reference device. In Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS* (pp. 2418–2421).
<https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037344>;

Bergamini, E. Ligorio, G. Summa, A. Vannozzi, G. Capozzo, A. Sabatini, A. (2014) *Estimating Orientation Using Magnetic and Inertial Sensors and Different Sensor Fusion Approaches: Accuracy Assessment in Manual and Locomotion Tasks*. ISSN 1424-8220. doi:10.3390/s141018625;

Bland, J. & Altman, G. (1986) *Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement*. Lancet. 307-310

Bland, J & Altman, D. (1999) *Measuring agreement in method comparison studies*. Statistical Methods in Medical Research; 8: 135-160.

Blair, S. Duthie, G. Robertson, S. Hopkins, W. Ball, K. (2018). *Concurrent validation of an inertial measurement system to quantify kicking biomechanics in four football codes*. Journal of Biomechanics. S0021-9290(18)30212-4. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.03.031>;

BMJ 2013; 346:f532 doi: 10.1136/bmj.f532 (Published 29 January 2013)

Bowling, A. (2014) *Research Methods in Health: Investigating Health and Health Services*. McGraw Hill Education. 4th Edition. 174-175. ISBN-13: 978-0-335-26274-8

Bush, K. Collins, N. Portman, L & Tillet, N. (2000) *Validity and Intertester Reliability of Cervical Range of Motion Using Inclinator Measurements*. The Journal of Manual and Manipulative Therapy. Vol. 8. N°2. 52-51;

Cappozzo A, Cappello A, Della Croce U, Pensalfini P (1997) *Surface-Marker Cluster Design Criteria for 3-D Bone Movement Reconstruction*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 44 (12), p 1165-1174;

Cleland, J.A., Childs, J.D., Whitman, J.M. (2008): *Psychometric properties of the Neck Disability Index and Numeric Pain Rating Scale in patients with mechanical neck pain*. Archives of Physical Medical Rehabilitation; 89: 69-74;

Cloete, T. & Cornie, S. (2008). *Benchmarking of a full-body inertial motion capture system for clinical gait analysis*. 30th Annual International IEEE EMBS Conference Vancouver, British Columbia, Canada, August 20-24;

Chan Ci En, M., Clair, D. A., & Edmondston, S. J. (2009). *Validity of the Neck Disability Index and Neck Pain and Disability Scale for measuring disability associated with chronic, non-traumatic neck pain*. Manual Therapy. 14(4), 433–438. <https://doi.org/10.1016/j.math.2008.07.005>;

Cook, D. Beckam, T. (2006) *Current concepts in validity and reliability of psychometric instruments*. The American Journal of Medicine. Elsevier. 119, 166.e7-166.e16 [doi:10.1016/j.amjmed.2005.10.036](https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.10.036);

Cruz, E. B., Fernandes, R., Carnide, F., Domingues, L., Pereira, M., & Duarte, S. (2015). *Cross-cultural adaptation and validation of the neck disability index to european portuguese language*. Spine, 40(2), E77–E82. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000692>;

Devon, H. Block, M. Moyle-Wright, P. Ernst, D. Hayden, S. Lazzara, D. Savoy, S. Kostas-Polston, E. (2007) *A Psychometric Toolbox for Testing Validity and Reliability*;

Domingues, L. Cruz, E. (2011). *Relação entre Catastrofização da Dor, Percepção da Intensidade da Dor e Incapacidade Funcional em utentes com dor crónica cervical*. Dissertação de Mestrado em Fisioterapia. Relatório do Projeto de Investigação;

Duarte, S. (2013) *Fatores de Prognóstico para os resultados de sucesso da fisioterapia multimodal em utentes com dor cervical crónica*. Dissertação de Mestrado em Fisioterapia. Relatório de Projeto de Investigação;

Duc, C. Salvia, P. Lubansu, A. Feipel, V. Aminian, K. (2013) *A wereable inertial system to assess the cervical spine mobility: Comparison with na optoeletronic-based motion capture evaluation*. *Medical Engineering & Physics*. (49-56) Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.09.002>;

Farooq MN, Mohseni Bandpei MA, Ali M, Khan GA. (2016) *Reliability of the universal goniometer for assessing active cervical range of motion in asymptomatic healthy persons*. *Pak J Med Sci*. ;32(2):457-461. [doi: http://dx.doi.org/10.12669/pjms.322.8747](http://dx.doi.org/10.12669/pjms.322.8747);

Guyatt, G. *Making sense of quality of life data* (2000) *Medical Care*. Vol. 38, nº 9. Supplement II. 175-179;

Hachadorian, J. Lugo, A. Lian, E. Khoa, T. Toi, Vo Van. (2010). *Measurement of the Range of Neck Motion: A Comparative Study*. 144-146. Springer;

Inokuchi, H. Tojima, M. Mano, H. Ishikawa, Y. Ogata, N. Haga, N. (2014). *Neck range of motion measurements using a three-dimensional motion analysis system: validity and repeatability*. Springer-Verlag. [DOI 10.1007/s00586-015-3913-2](https://doi.org/10.1007/s00586-015-3913-2);

Jasiewicz, JM. Treleaven, J. Condie P, Jull G. *Wireless orientation sensors: their suitability to measure head movement for neck pain assessment*. *Man Ther* 2007;12:380–5.

Kahl, C., & Cleland, J. A. (2005). *Visual analogue scale, numeric pain rating scale and the McGill pain Questionnaire: an overview of psychometric properties*.

Physical Therapy Reviews, 10(2), 123–128.
<http://doi.org/10.1179/108331905X55776>;

Laird, R. A., Gilbert, J., Kent, P., & Keating, J. L. (2014). *Comparing lumbo-pelvic kinematics in people with and without back pain: A systematic review and meta-analysis*. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 15(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-229>;

Law, E. Chiu, T. *Measurement of Cervical Range of Motion (CROM) by electronic CROM goniometer: A test of reliability and validity* (2013). *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 141-148 doi:10.3390/s141018625;

Mayagoitia, R. E., Nene, A. V. & Veltink, P. H. (2002). *Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems*. *Journal of Biomechanics*, 35, 537–542;

Matias, R. Gamboa, H. *Avaliação do Movimento e Função Humana: Análise cinemática tridimensional e Eletromiografia* (2005). Revisão da literatura. Vol.1. Nº3;

McGinley, J.L. Baker, R. Wolfe, R. Morris, M.E. *The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: a systematic review*. *Gait Posture* 2009;29:360–9.

Mieritz, R. M., Bronfort, G., Kawchuk, G., Breen, A., & Hartvigsen, J. (2012). Reliability and measurement error of 3-dimensional regional lumbar motion measures: A systematic review. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.09.011>;

MacDermid, J. C., Walton, D. M., Avery, S., Blanchard, A., Etruw, E., McAlpine, C., & Goldsmith, C. H. (2009). *Measurement properties of the neck disability index: a systematic review*. *J Orthop Sports Phys Ther*, 39(5), 400-417;

McDermott, A., Bolger, C., Keating, L., McEvoy, L., & Meldrum, D. (2010). *Reliability of three-dimensional gait analysis in cervical spondylotic myelopathy*. *Gait & Posture*, 32(4), 552–558. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.07.019>;

Maroco, J. (2007) *Análise Estatística com utilização do SPSS*. Edições Sílabo. 3ª Ed. ISBN: 978-972-618-452-2.

Mokkink, L.B., Terwee, C.B., Patrick, D., et al. (2010): COSMIN checklist manual, VU University Medical Center Department of Epidemiology and Biostatistics,

- EMGO Institute for Health and Care Research, Amesterdão, Holanda;
- Mukaka, M. (2012) Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*; 24 (3). 69-71;
- Páris, C. Barbosa, J. Ferreira, E. Gomes, A. (2017). *Bitolino use and applications for health, education, home automation and industry*. Proceedings of the 8th International Conference on Society and Information Technologies;
- Pereira, M. & Cruz, E. (2012) Contribuição para a adaptação cultural no Neck Disability Index e caracterização da prática de fisioterapia em pacientes com Dor Crónica Cervical. Dissertação de Mestrado em Fisioterapia. Relatório de Projeto de Investigação;
- Pereira, M. Cruz, E. Domingues, L. Duarte, S. Carnide, F. Fernandes, R. (2015). *Responsiveness and Interpretability of the Portuguese Version of the Neck Disability Index*. *Spine*. 22. 1180-1186.
- Quek, J. Brauer, S. Treleaven, J. Pua, Yong-Hao. Mentiplaty, B. Clark, Ross. (2014). *Validity and intra-rater reliability of an Android phone application to measure cervical range-of-motion*. *Journal of Neural Engineering and Rehabilitation*. BioMedCentral;
- Sarig-Bahat, H. S., Weiss, P. L., & Laufer, Y. (2013). *The effect of neck pain on cervical kinematics, as assessed in a virtual environment*. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(12), 1884–1890.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.09.007>;
- Sjölander, P., Michaelson, P., Jaric, S., & Djupsjöbacka, M. (2008). *Sensorimotor disturbances in chronic neck pain-Range of motion, peak velocity, smoothness of movement, and repositioning acuity*. *Manual Therapy*, 13(2), 122–131.
<https://doi.org/10.1016/j.math.2006.10.002>;
- S.R. Piva, R.E.E. Rhard, J.D. Chids and D.A. Browder (2006) *Intertester reliability of passive intervertebral and active movements of the cervical spine*. *Manual Therapy* 11, 321-330;
- Sarig-Bahat, H., Weiss, P. L., & Laufer, Y. (2009). *Cervical motion assessment using virtual reality*. *Spine*, 34(10), 1018–1024.
<https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31819b3254>;

- Sarig-Bahat, H. Ignariya, M. Quek, J. Treleaven, J. (2016) *Cervical Kinematics of Fast Neck Motion across Age*. Journal of Novel Physiotherapies. 10.4172/2165-7025.1000306;;
- Sarig- Bahat, H. S., Sprecher, E., Sela, I., & Treleaven, J. (2016). *Neck motion kinematics: an inter-tester reliability study using an interactive neck VR assessment in asymptomatic individuals*. *European Spine Journal*, 25(7), 2139–2148. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4388-5>;
- Schellingerhout, J. Heymans, M. Verhagen, A. Vet, H. Koes, B & Terwee (2011). *Measurement properties of translated versions of neck-specific questionnaires: a systematic review*. Medical Research Methodology. BioMedCentral;
- Scholtes, V. Terwee, C. & Poolman, R. (2011) *What makes a measurement instrument valid and reliable?* Injury. Elsevier;
- Silva, H. Guerreiro, J. Lourenço, A. Fred. A. Martins, R. (2014). BITalino: A Novel Hardware Framework for Physiological Computing;
- Stennenberg, MS. Rood, M. de Bie, R. Schmitt, MA. Cattrysse, E. & Scholten-Peeters. GG. (2017). *To What Degree Does Active Cervical Range of Motion Differ Between Patients With Neck Pain, Patients with Whiplash, and Those Without Neck Pain?* A Systematic Review and Meta-Analysis. 1407-1434. Elsevier. doi: 10.1016/j.apmr.2016.10.003;
- Streiner, D. Norman, G. & Cairney, J. (2015). *Health Measurements Scales*. A practical guide to their development and use. 5th Edition. Oxford University Press. 227-235. ISBN 978–0–19–968521–9;
- Swinkels, R. & Swinkels-Meewisse (2014). *Normal Values for Cervical Range of Motion*. Spine. Vol.39. N°5. 362-367. Lippincott Williams & Wilkins;
- Roetenberg, D. Luinge, H. Slyke, P. (2013) *Xsens MVM; Full 6 DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors*. XSENS TECHNOLOGIES;
- Robert-Lachaine, X. Mecheri, H. Larue, C. & Plamondon, A. (2016). *Validation of inertial measurement units with an optoelectronic system for whole-body motion analysis*. Med Biol Eng Comput. Springer. DOI 10.1007/s11517-016-1537-2
- Robertson, D. G. E., & Caldwell, G. E. Hamill, J., Kamen, G. & Whittlesey, S. (2014) *Planar kinematics*. Research Methods in Biomechanics, (2^aEd., pp 09-

34). USA: Human Kinetics;

Terwee, C. Bot, de Boer, M. van der Windt, D. Knol, D. Dekker, J. Bouter, L. de Vet, H. (2007). *Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires*. Journal of Clinical Epidemiology. 34-42. Elsevier;

Terwee, C. B., Prinsen, C. A. C., Chiarotto, A., De Vet, H. C. W., Westerman, M. J., Patrick, D. L., Alonso, J., Bouter, L. M., Mokkink, L. B. (2018). *COSMIN standards and criteria for evaluating the content validity of health-related Patient-Reported Outcome Measures: a Delphi study*. Qual Life Res in press;

Tousignant, M. Bellefeuille, L. O'Donoghue, S. & Grahovac, S. (2000). *Criterion Validity of the Cervical Range of Motion (CROM) Goniometer for Cervical Flexion and Extension*. SPINE. Volume 24, N°3. 324-330;

Tousignant, M. Duclos, E. Laflèche, S. Mayer, A. Tousignant-Laflamme, Y. Brosseau, L. & O'Sullivan, J. (2002). *Validity Study for Cervical Range of Motion Device Used for Lateral Flexion in Patients With Neck Pain*. SPINE. Volume 27, N°8. 812-817;

Tousignant, M. Smeesters, C. Breton, A. Breton, E. Corriveau, H. (2006). *Criterion Validity Study of the Cervical Range of Motion (CROM) Device for Rotational Range of Motion on Healthy Adults*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy;

Tousignant-Laflamme, Y. Boutin, N. Dion, A. & Vallée, Carol-Anne (2013). *Reliability and criterion validity of two applications of the iPhone™ to measure cervical range of motion in healthy participants*. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. BioMedCentral;

Youdas, J. W., Garrett, T. R., Suman, V. J., Bogard, C. L., Hallman, H. O., & Carey, J. R. (1992). *Normal range of motion of the cervical spine: An initial goniometric study*. Physical Therapy, 72(11), 770–780. <https://doi.org/10.1093/ptj/72.11.770>;

Williams, M. A., McCarthy, C. J., Chorti, A., Cooke, M. W., & Gates, S. (2010). *A Systematic Review of Reliability and Validity Studies of Methods for Measuring Active and Passive Cervical Range of Motion*. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 33(2), 138–155.

<https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2009.12.009>;

Wong WY, Wong MS. Trunk posture monitoring with inertial sensors. *Eur Spine J* 2008; 17:743–53

Wu, G. van der Helm, F. Vegger, H.E.J. Makhsousm, M. Van Roy, P. Anglin, C. Nagels, J. Karduna, A. McQuade, K. Wang, X. Werner, F. & Buchholz, B. (2005) *ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion – Part II – shoulders, elbow, wrist and hand*. *Journal of Biomechanics*. 38. Pág. 981—992.

Vernon, H. (2008) *The Neck Disability Index: Stante-of-the-Art, 1991-2008*. 10.1016/j.jmpt.2008.08.006;

Zhou,H. Hu, H. Reducing drifts in the inertial measurements of wrist and elbow positions. *IEEE Trans Instrum Meas* 2010;59:575–85.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Ficha Informativa para Participantes

Validade, fiabilidade teste-reteste, erro padrão de medida e diferença mínima detetável da avaliação de amplitudes de movimento da cervical através do sistema *BITalino R-IoT*

Gostaríamos de convidá-lo(a) a participar neste estudo. Antes de tomar qualquer decisão, é importante que compreenda as razões pelas quais este estudo está a ser conduzido e o nível de envolvimento que lhe é pedido. Por favor, utilize o tempo que necessitar para ler a informação que se segue. Poderá falar com outras pessoas sobre este estudo, se o desejar.

Este documento inclui duas partes: a parte 1 apresenta-lhe informação sobre o propósito deste estudo e o nível de envolvimento que lhe será pedido; a parte 2 oferece-lhe informação mais detalhada sobre a forma como o estudo será conduzido.

Se algum aspeto não for claro ou se desejar mais informação por favor não hesite em colocar-nos as suas questões. Utilize o tempo que necessitar para decidir se deseja ou não participar neste estudo.

Parte 1 | O propósito do estudo e o nível de envolvimento que lhe é pedido

Qual é a finalidade deste estudo?

A finalidade deste estudo é avaliar as propriedades psicométricas do sistema *BITalino R-IoT* na avaliação da amplitude articular da coluna cervical, por comparação a um sistema de referência. O sistema *BITalino R-IoT* consiste numa plataforma portátil que se coloca na testa e que, ao ligar-se a um *software*, consegue fornecer informações acerca dos movimentos da coluna cervical que a pessoa realiza. O instrumento com o qual será comparado consiste num conjunto de 12 câmaras colocadas em círculo, de igual modo, conseguem

fornecer informação acerca as amplitudes de movimento da coluna cervical. Desta forma, pretende-se avaliar se o *BITalino R-IoT* é válido e fiável na medição das amplitudes articulares quando comparado com outro instrumento, que avalia os mesmos parâmetros.

Isto é importante para que este sistema possa ser utilizado pelos fisioterapeutas não só na medição das amplitudes articulares, como para ajudar a medir os resultados da intervenção realizada, garantindo que as diferenças existentes são fiáveis e fidedignas.

Por que fui convidado(a)?

Foi convidado(a) para participar neste estudo porque tem idade superior a 18 anos e inferior a 65 anos, e por não referir atualmente ou na sua história clínica anterior qualquer sintoma na coluna cervical. Nesse sentido cumpre as condições necessárias para participar no estudo.

Tenho mesmo que participar?

A decisão de participar é sua. O estudo e os respetivos procedimentos serão descritos ao longo desta ficha informativa. Terá o tempo que necessitar para a ler e colocar questões. É livre de não participar ou desistir do estudo a qualquer momento, sem que tenha que dar justificação. A sua decisão não afetará o seu futuro nem terá consequências para si.

O que acontece, se aceitar participar?

Se decidir participar, em primeiro lugar, ser-lhe-á solicitado o seu consentimento informado.

Após a assinatura da declaração de consentimento informado, será agendada a primeira sessão de avaliação que decorrerá no *Sense&Motion Lab* na Escola Superior de Saúde, do Instituto Politécnico de Setúbal, em data e hora da sua

conveniência. No início da primeira sessão, será verificado se cumpre todos os requisitos para participar neste estudo. Caso o mesmo se verifique, ser-lhe-á pedido para responder a um Questionário de caracterização sociodemográfica, à Escala Numérica da Dor que avalia a intensidade da dor e, à *Neck Disability Index* - versão Portuguesa que avalia a incapacidade funcional associada à dor cervical. Ser-lhe-á também medida a massa (KG), altura (m) e posteriormente calculado o índice de massa corporal (kg/m^2). Seguidamente, para ser possível recolher informações acerca do movimento da sua coluna cervical, ser-lhe-ão colocados um conjunto de marcadores. A colocação dos marcadores permite que as câmaras reconheçam os diferentes segmentos do corpo, ajudando a recolher informações visuais sobre a quantidade de movimento que ocorre na sua coluna cervical. Para além disso, ser-lhe-á colocada uma pequena plataforma na testa (sistema *BITalino R-IoT*), que também fornecerá informação acerca dos movimentos da coluna cervical. Desta forma, ser-lhe-á pedida a realização de movimentos da coluna cervical, nomeadamente o de flexão (dobrar o queixo ao peito), extensão (esticar a cabeça atrás), flexão lateral direita e esquerda (levar a orelha ao ombro direito e esquerdo) e o de rotação direita e esquerda (olhar para a direita e para a esquerda). Assim, o objetivo final será comparar os dados recolhidos pelas diversas câmaras e os dados recolhidos pelo sistema *BITalino R-IoT* e verificar se as informações são coincidentes.

Durante o procedimento experimental, estará sentado (a) confortavelmente numa cadeira rígida, com os ombros e o tronco apoiados no encosto da cadeira, com os pés apoiados no chão e os cotovelos, antebraços e punhos relaxados e apoiados sobre os braços da cadeira. De forma a evitar que o movimento do cabelo afete a visibilidade dos marcadores, utilizará uma toca de algodão descartável que deverá fixar e cobrir o cabelo. Estes procedimentos têm uma duração estimada de 1 hora. No final dos procedimentos, será convidado a participar numa segunda avaliação (igual à primeira), cerca de uma semana depois e de acordo com a sua disponibilidade.

Quais são as possíveis vantagens em participar?

Não irá receber nenhum benefício imediato por participar neste estudo. Contudo, a informação retirada do estudo poderá permitir-nos o acesso a um novo instrumento de medida, que pode ser utilizado em utentes que necessitem de uma avaliação das amplitudes articulares da coluna cervical, sendo esta importante para a tomada de decisão clínica.

Quais são as possíveis desvantagens ou riscos se aceitar participar?

Não são esperadas quaisquer implicações negativas para os participantes neste estudo. Se decidir participar no estudo, poderá abandonar o mesmo a qualquer momento sem ter que fornecer qualquer tipo de explicação.

E se houver algum problema?

Qualquer queixa que tenha sobre este estudo, sobre a forma como foi abordado(a) ou qualquer dano associado serão considerados. Na parte 2 deste documento, poderá encontrar mais informação sobre este aspeto.

A minha participação neste estudo será confidencial?

Sim. Serão adotados um conjunto de procedimentos de natureza ética de forma a assegurar que a sua participação será mantida em confidencialidade. Na parte 2 deste documento poderá encontrar mais informação sobre este aspeto.

Se a informação disponibilizada na parte 1 lhe despertou interesse em participar, por favor leia a informação adicional apresentada na parte 2 antes de tomar qualquer decisão.

Parte 2 | A forma como estudo será conduzido

O que acontece se eu não aceitar participar no estudo?

A sua participação é totalmente voluntária e é livre de desistir do estudo a qualquer momento, sem que tenha que o justificar. Se desistir do estudo, não serão utilizados quaisquer dados que lhe digam respeito. Esta decisão não terá qualquer impacto na sua vida atual ou no futuro.

E se houver algum problema?

Se tiver alguma queixa sobre qualquer aspeto deste estudo, deverá falar com um membro da equipa de investigação. No caso de querer reportar alguma situação ou realizar alguma queixa, deve fazê-lo ao responsável pelo curso de Mestrado, Professor Eduardo Cruz, através dos seguintes contactos:

Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal (ESS-IPS)

Telefone: 265709391

E-mail: eduardo.cruz@ess.ips.pt

(Eduardo Cruz - Responsável pelo Curso de Mestrado em Fisioterapia da ESS-IPS)

A minha participação neste estudo será confidencial?

Sim. Serão adotados um conjunto de procedimentos de natureza ética de forma a assegurar que a sua participação será mantida em confidencialidade. Os seus dados sociodemográficos, clínicos e as suas respostas aos questionários serão codificados e introduzidos por nós, Raquel Trindade e Carolina Lobo, numa base de dados sem qualquer referência ao seu nome ou outros dados identificativos. Toda a documentação (questionário preenchido e resultados das avaliações) será armazenada em local seguro na Escola Superior de Saúde do Instituto

Politécnico de Setúbal e apenas acessível aos investigadores. Toda esta documentação será destruída após 5 anos do término do estudo.

O que irá acontecer às informações que eu der sobre mim?

Serão recolhidos dados relativos às suas características sociodemográficas. Estes dados serão agregados e nunca serão apresentados de forma individual. Pretendem apenas caracterizar os participantes neste estudo, no seu conjunto. Todos os dados recolhidos serão codificados aquando da sua introdução na base de dados, garantindo desta forma o anonimato no seu armazenamento.

O que irá acontecer com os resultados deste estudo?

Os resultados do estudo serão apresentados no âmbito da apresentação do Trabalho de Projeto do Mestrado em Fisioterapia - Ramo das Condições Músculo-Esqueléticas, nunca sendo os participantes identificados de forma individual. Eventualmente os resultados poderão ser publicados conferências/revistas da especialidade, mas nunca de forma individual. Uma vez apresentados os resultados, os dados originais serão destruídos.

Contactos:

Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal (ESS-IPS)

Telefone: 265709391

E-mail: eduardo.cruz@ess.ips.pt

(Eduardo Cruz - Responsável pelo Curso de Mestrado em Fisioterapia da ESS-IPS)

Muito obrigada por ler este documento

Raquel Trindade e Carolina Lobo

APÊNDICE 2

Validade, fiabilidade teste-reteste, erro padrão de medida e diferença mínima detetável da avaliação de amplitudes de movimento da cervical através do sistema *BITalino R-IoT*

Escola Superior de Saúde, Departamento de Fisioterapia

Formulário de Consentimento Informado

Este estudo está enquadrado na Unidade Curricular de Trabalho de Projeto do 2º ano do Curso de Mestrado em Fisioterapia – Ramo de Condições Músculo-Esqueléticas, lecionado em parceria pela Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal em parceria com a Nova Medical School/Faculdade de Ciências Médicas e Escola Nacional de Saúde Pública da Universidade Nova de Lisboa, e é realizado pelas estudantes Raquel Trindade e Carolina Lobo, sob orientação científica da Professora Rita Fernandes e co-orientação do Professor Luís Gomes.

Declaro que li e compreendi a informação facultada na ficha informativa e que pude esclarecer todas as dúvidas com os investigadores.

Sei que a minha participação no estudo é completamente voluntária, sem qualquer risco para mim. O seu objetivo é avaliar as propriedades psicométricas do sistema *BITalino R-IoT* na avaliação da amplitude articular da coluna cervical, por comparação a um sistema de referência. Isto é importante para que este sistema possa ser utilizado pelos fisioterapeutas não só na medição das amplitudes articulares, mas também no auxílio da medição de resultados da intervenção realizada.

Sei que fui selecionado(a) por ter entre 18 e 65 anos, nunca ter experienciado dor cervical em algum momento, com a necessidade de recurso ao médico e/ou outro profissional de saúde e saber ler e escrever Português Europeu; e por nunca ter tido nenhum trauma ou intervenção cirúrgica prévia à coluna cervical, qualquer outra condição clínica que possa afetar a mobilidade da cervical, como

radiculopatia cervical, espondilite anquilosante ou artrite reumatoide nem qualquer doença maligna ou sistémica.

Foram-me explicados todos os princípios e procedimentos e estou consciente que, serei convidado a participar em 2 momentos de avaliação que terão lugar no *Sense&Motion Lab* na Escola Superior de Saúde, do Instituto Politécnico de Setúbal. Ser-me-á pedido para responder a um Questionário de caracterização sociodemográfica, à Escala Numérica da Dor que avalia a intensidade da dor e, à *Neck Disability Index* - versão Portuguesa que avalia a incapacidade funcional associada à dor cervical. Ser-me-á também medida a massa (KG), altura (m) e posteriormente calculado o índice de massa corporal (kg/m^2). Por fim, ser-me-á pedida a realização de movimentos da coluna cervical, nomeadamente o de flexão (dobrar o queixo ao peito), extensão (esticar a cabeça atrás), flexão lateral direita e esquerda (levar a orelha ao ombro esquerdo e direito), e o de rotação direita e esquerda (olhar para a esquerda e para a direita), enquanto estão a ser recolhidos dados cinemáticos através de um conjunto de câmaras dispostas em círculo, que usa marcadores refletivos colocados em diferentes zonas do corpo, e de um sistema *BITalino R-IoT* colocado na testa. Durante o procedimento experimental, estarei sentado (a) confortavelmente numa cadeira rígida, com os ombros e o tronco apoiados no encosto da cadeira, com os pés apoiados no chão e os cotovelos, antebraços e punhos relaxados e apoiados sobre os braços da cadeira. De forma a evitar que o movimento do cabelo afete a visibilidade dos marcadores, utilizarei uma toca de algodão descartável que deverá fixar e cobrir o cabelo. Estes procedimentos têm uma duração estimada de 1 hora.

Compreendo igualmente que tenho o direito de colocar durante o desenvolvimento deste estudo, qualquer questão. Sei que posso abandonar o estudo em qualquer momento, sem necessitar de dar nenhuma justificação. Compreendo que será usado um sistema de codificação da minha identidade, que permitirá que o estudo funcione em anonimato, ou seja, a equipa que analisa os dados não tem acesso à minha identificação e a mesma só será usada pelo investigador em caso de dúvida. Estou igualmente consciente que as minhas respostas serão apresentadas no âmbito da apresentação do Trabalho de Projeto do Mestrado em Fisioterapia - Ramo das Condições Músculo-Esqueléticas, mas nunca de forma individual.

Assim, declaro que aceito participar nesta investigação, com a salvaguarda da confidencialidade e anonimato e sem prejuízo pessoal de cariz ético ou moral.

Nome _____

Assinatura: _____

Data: _____

Assinatura do Investigador _____

Contactos:

Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal (ESS-IPS)

Telefone: 265709391; E-mail: eduardo.cruz@ess.ips.pt

(Eduardo Cruz - Responsável pelo Curso de Mestrado em Fisioterapia da ESS-IPS)

Agradecemos a sua colaboração e atenção,

Investigadoras,
Raquel Trindade e Carolina Lobo

APÊNDICE 3

TABLE 2. Normal Values of ACROM and SD Stratified for Age

Age Movement	20-29 yr, N = 100	30-39 yr, N = 100	40-49 yr, N = 100	50-59 yr, N = 100
Flexion	60	58	59	53
SD	10.921	8.706	8.403	9.271
Extension	75	69	66	64
SD	10.336	10.347	9.709	10.298
Side flexion left	46	43	41	38
SD	7.500	6.406	7.740	7.975
Side flexion right	45	42	40	38
SD	7.466	7.091	8.388	8.055
Rotation left	78	79	79	71
SD	7.968	8.891	9.305	9.235
Rotation right	79	79	78	71
SD	6.632	8.604	9.690	8.294

ACROM indicates active cervical range of motion; SD, standard deviation.